

**MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI**

**A szem elülső szegmentumának műszeres
vizsgálati lehetőségei**

Dr. Németh Gábor



**Borsod-Abaúj-Zemplén Megyei Kórház és Egyetemi Oktató Kórház
Szemészeti Osztály**

2016

Tartalomjegyzék

1. Rövidítésjegyzék	1
2. Bevezetés és a vizsgálatok klinikai háttere	2
3. Célkritizések	6
4. Módszerek és statisztikai analízis	7
5. Eredmények összefoglalása és megbeszélése	
5.1 A corneális átmérő vizsgálata különböző eszközökkel	9
5.2 A cornea centrális vastagságának mérése különböző eszközökkel	10
5.3 Keratometriás vizsgálatok képvezérelt módszerrel	11
5.4 A corneális astigmatismus vizsgálata	
5.4.1 az elülső corneális felszínen	13
5.4.2 a hátsó corneális felszínen	14
5.5 A sebészileg indukált corneális astigmatismus vizsgálata	
5.5.1 az elülső corneális felszínen, egyszeres illetve kettős corneális sebzés esetén	16
5.5.2 a hátsó corneális felszínen	19
5.6 A cornea magasabb rendű aberrációinak vizsgálata és életkori összefüggéseinek leírása	21
5.7 Corneális biomechanikai paraméterek vizsgálata	
5.7.1 egészséges, nem operált szemeken	22
5.7.2 keratorefraktív műtétek után	24
5.8 Az elülső csarnok mélységének mérése phakiás és pseudophakiás szemeken	28
5.9 A szürkehályogműtét során tervezett posztoperatív refrakciós cél pontosságának elemzése különböző biometriai technikákkal	31
5.10 Az effektív műlencsehelyzet becslési hibája és a szubjektív látásélesség közti kapcsolat vizsgálata	32
5.11 Az accomodatio amplitudójának mérése pseudophakiás szemeken, 3 módszerrel	36
5.12 Az accomodatio vizsgálata phakiás és pseudophakiás szemeken, szubjektív és objektív módszerrel	39
6. Az új eredmények összefoglalása	45
7. Közleménylista	
7.1 Az értekezés alapjául szolgáló közlemények listája	47
7.2 Egyéb, jelen értekezéshez nem felhasznált, angol nyelvű közlemények listája	48
7.3 Egyéb, jelen értekezéshez nem felhasznált, magyar nyelvű közlemények listája	49
8. Scientometriai paraméterek	50
9. Köszönetnyilvánítás	51

1. Rövidítésjegyzék

ACD.....	anterior chamber depth, elülső csarnok mélység
ANOVA.....	analysis of variance, varianciaanalízis
ATA.....	angle-to-angle, csarnokzugok egymástól mért távolsága
CC.....	clear corneal, tisztán corneális (sebzés)
CH.....	corneális hysteresis
CI.....	confidencia intervallum
CRF.....	corneális rezisztencia faktor
CXL.....	corneális cross-linking
CV.....	coefficient of variation, variációs koefficiens
D.....	dioptria
ELP.....	effective lens position, effektív műlencsehelyzet
HOA.....	higher-order aberration, magasabb rendű aberráció
ICC.....	intraclass correlation coefficient
IOP.....	intraocular pressure, intraocularis nyomás
IQR.....	interquartile range, interquartilis tartomány
LASIK.....	laser-assisted in situ keratomileusis
LoA.....	limits of agreement, egyezési határ
OCCI.....	opposite clear corneal incision, kettős corneális sebzés
OCT.....	optikai coherentia tomographia
ORA.....	Ocular Response Analyzer
PCI.....	partialis coherentia interferometria
PRK.....	photorefractiv keratectomia
RMS.....	root mean square, a négyzetösszegek négyzetgyöke
SD.....	standard deviatio, standard szórás
SRK/T.....	Sanders-Retzlaff-Kraff/T (formula)
UH.....	ultrahang
WTW.....	white-to-white távolság, horizontális corneaátmérő

2. Bevezetés és a vizsgálatok klinikai háttere

A szem elülső szegmentum paramétereinek pontos, ismételhető és non-invazív mérése különösen fontos a cornea és a szemlencse egyre növekvő precizitást igénylő műtéteihez. A cornea paramétereinek (átmérő, vastagság, görbületi sugár, topographiás adatok, biomechanikai jellemzők, aberrometriás értékek) és az elülső csarnok mélységének (angolban anterior chamber depth, ACD) non-kontakt mérései a szemészeti műtétek tervezéséhez és azok posztoperatív monitorozásához elengedhetetlenek. A szemészetben használt diagnosztikus eszközök tárháza folyamatosan bővül, egyre újabb technikákkal felszerelt és újabb fizikai elveket felhasználó műszerek kerülnek forgalomba. A folyamatos és gyors technikai fejlesztés egyik célja, hogy a szemészeti paramétereket minél nagyobb pontossággal határozhassuk meg, így minél jobban kiszámíthatóvá tegyük a műtétek refraktív és anatómiai kimenetelét. A szemészetben szinte minden paraméter esetén használunk egy gold standard mérési módszert, aminek eredményét elismerjük, biztosnak, pontosnak és megbízhatónak tartjuk. A technikai fejlődés és a növekvő pontosság igénye viszont elkerülhetetlen és elengedhetetlen a szemészetben is. Ismert, hogy a kereskedelmi forgalomba kerülés időpontjában az új szemészeti műszerek jelentős részénél nincsenek rendelkezésre álló adatok a mérések ismételhetőségéről illetve megbízhatóságáról. Egyik kutatási célunk az volt, hogy az újonnan elérhető diagnosztikus eszközökkel részleteiben vizsgáljuk a szem elülső szegmentumának mérhető paramétereit, valamint több később részletezésre kerülő téma esetén a kapott eredményeket összehasonlítsuk a még mindig standardként kezelt mérési technikák eredményeivel. Másik célunk az volt, hogy ezen eszközökkel nyomon kövessük az elülső szegmentumban az életkor előrehaladtával bekövetkező változásokat, illetve különböző típusú szemészeti műtétek után megfigyeljük és leírjuk egyes mérhető paraméterek változását.

Ismert, hogy a szem fejlődésében az első két életévben gyors változások állnak be, az időszövő szervezetben bekövetkező anatómiai és biomechanikai változások viszont kevésbé ismertek. A jelenlegi, kifinomult műtéti technikák és refraktív sebészeti beavatkozások az időszövő és megváltozó szem jellegzetességeit kevésbé veszik figyelembe. Az életkorral együtt bekövetkező változások jelentős része éppen a szem teljes törőerejének nagy részét kitevő szaruhártyát érinti. A corneális astigmatismus tengelyének életkori megváltozását az elülső és hátsó corneális felszínen már korábban is felismerték, és ismert a pupilla életkorral együtt járó fokozatos szűkülése, a senilis miosis is.

A corneát számos statikus és dinamikus paraméter jellemzi. Statikus paraméterek a cornea horizontális és vertikális átmérője és a cornea vastagsága. A cornea törőereje (görbületi sugarak illetve a számított keratometriai értékek és ezek legnagyobb különbsége, a corneális astigmatismus) és a cornea alacsony- és magasabb rendű aberrációinak térképezése is jellemző, statikus paraméterei a corneának. Dinamikus paraméterek közé sorolják a corneát illetve az egész elülső szegmentumot jellemző biomechanikai adatokat.

A cornea horizontális átmérőjének ismerete fontos paraméter pl. phakiás műlencse beültetések esetén, a cornea vastagság pontos mérése pedig az elülső szegmentum számos műtétjének tervezése során, valamint a szemnyomásérték helyes megítéléséhez is elengedhetetlen.

Az emberi szem fénytörésének kétharmad részét a cornea elülső illetve hátsó felszínének tulajdonítjuk. A corneális astigmatismust (a legnagyobb és legkisebb corneális törőerő értékei közti különbséget) az új módszerekkel átlagosan 1,0 D körüli nagyságúnak mérik. Ez az átlagos érték és a 1,0 D feletti astigmatismus irodalomban leírt magas előfordulási aránya a mai, refraktív eredmény szempontjából igen érzékeny szürkehályog-sebészetben kitüntetett figyelmet érdemel. Ma a cataracta műtét során célunk a meglévő corneális astigmatismus mértékének csökkentése, de legalábbis növelésének elkerülése. Ezt a corneális sebzés helyének és méretének helyes megválasztásával, vagyis a sebészileg indukált astigmatismus tervezésével tudjuk elérni. Bonyolítja a kérdést, hogy a

corneális törőerőket és az astigmatismus tengelyét a különböző eszközök eltérőnek mérhetik, egy új képvezérelt eszköz (VERION, Alcon) mérésének megbízhatósága és ismételhetősége pedig nem is volt ismert e műszer forgalomba helyezése idejében. Tovább nehezíti a corneális astigmatismus megítélését és műtéti korrigálását az életkor előrehaladtával leírt jelentős tengelyelfordulása, valamint az elülső és hátsó corneális felszín görbületi sugarak mérésének ismert gyakorlati problematikája is. A cornea elülső felszíne mellett annak hátsó felszíne is jelentős szereppel bír a teljes corneális astigmatismus kialakításában. A cornea hátsó felszínének astigmatismusa többnyire vertikális irányú, így negatív lencseként szerepel illetve a teljes corneára vonatkoztatva legtöbbször indirekt irányú astigmatismust hoz létre. Ma a hátsó corneális felszín vizsgálatára a Scheimpflug képalkotást felhasználó Galilei Dual Scheimpflug Analyzer (Zeimer Group, Port, Svájc), a Pentacam és a Sirius (Costruzione Strumenti Oftalmici, Firenze, Olaszország) készülékek képesek, mely utóbbi a Scheimpflug képalkotást Placido-topographiával együtt alkalmazza. A legújabb készülék, a Cassini topograph (i-Optics, Hága, Hollandia) pedig színes LED fényforrás segítségével végez teljes corneális topographiát, figyelembe véve annak hátsó felszínét is. Corneális törőerővel kapcsolatos vizsgálatainknak három célja volt: vizsgálni egy képvezérelt eszköz keratometriás mérési megbízhatóságát és összehasonlíthatóságát; elemezni a cornea elülső és hátsó felszínének görbületi értékeit modern képalkotó rendszerekkel; vizsgálni cataracta műtétek után a cornea elülső és hátsó felszínén a sebészileg indukált astigmatismus vektorainak mértékeit, irányait, összefüggéseit.

Az alacsonyabb rendű fénytörési hibák mellett (prizma, myopia, hypermetropia) ismertek a szem illetve a cornea magasabb rendű aberrációi (angolban: higher-order aberration, HOA), melyek átlagostól, illetve a normáltól való jelentős eltérései a látás minőségét és a kontrasztérzékenységet képesek számottevően befolyásolni, elsősorban rontani. A szemészeti műtétek után főleg rosszabb fényviszonyok mellett sokszor észlelt dysphotopsiás tünetek hátterében a szem magas értékű magasabb rendű aberrációi állnak. A leginkább vizsgált ilyen eltérés a szférikus aberráció, mely negatív hatását a modern, szférikus aberrációra korrigált műlencsék különböző módon próbálják kiküszöbölni. Különösen a corneális szférikus aberráció mértékét illetve életkorral megfigyelt változását fontos ahhoz elemezni és megérteni, hogy olyan műlencsákat fejlesszenek ki, melyek ténylegesen, a lehető legjobban, akár egyénileg kompenzálják a teljes szem illetve döntően a cornea ezen aberrációját. A cornea magasabb rendű aberrációit annak elülső és hátsó felszíne együttesen határozza meg. Jelenleg a cornea hátsó felszínének elemzésében a Scheimpflug képalkotáson alapuló analízis vált meghatározóvá, jó ismételhetősége és megbízhatósága miatt. Az emberi szem anatómiai, statikus paraméterei között a cornea magasabb rendű aberrációi is változnak az életkorral. Egyik vizsgálatunk célja az volt, hogy a Scheimpflug elvvel működő Pentacam nagyfelbontású verziójával analizáljuk a corneális aberrációkat és azok életkori változásait a cornea elülső és hátsó felszínén.

A jelenleg alkalmazott szemészeti diagnosztikus módszerek tehát döntően a cornea statikus paramétereit mérik, a corneát azonban viszkózus és elasztikus tulajdonságok is jellemzik. A szaruhártya biomechanikáját jellemző paramétereket korábban csak a 2005-ben bemutatott Ocular Response Analyzer (ORA, Reichert Ophthalmic Instruments, Depew, New York, USA) mérte in vivo körülmények közt, pontosan és megbízhatóan. A cornea dinamikus paramétereit egy nagy intenzitású levegőáram befúvását felhasználva mérhetjük egy újabb eszközzel is (CorVis ST), 2011 ősze óta. Ezen műszerrel végzett vizsgálatok során a levegőáram hatására kapott deformációs választ elemzi a készülék egy ultragyors Scheimpflug kamera felvételeinek segítségével. A készülék által számított specifikus adatokból következtethetünk a szaruhártya viszkoelasztikus tulajdonságára, melynek megváltozása különböző kórképekben és elülső szegmentum műtétek után lehet jellemző. Ezirányú vizsgálataink célja volt, hogy a CorVis ST készülékkel feltérképezzük a cornea ezen új biomechanikai paramétereit, azok ismételhetőségét és esetleges életkori változásait. Másik célunk az volt, hogy elemezzük a corneális biomechanikai paraméterek változásait keratorefraktív műtétek illetve perforáló keratoplasztika kapcsán.

A szem elülső szegmentumának következő lényeges anatómiai eleme az elülső csarnok, mely a cornea és a szemlencse közötti tér. Az elülső csarnokra jellemző adatok a centrális mélység, a térfogat és a csarnokzug szöge. Az elülső csarnok mélysége a szemlencse illetve a szürkehályogműtét során beültetett műlencse helyzetének jellemző számszerű mutatója. Az elülső csarnok adatainak ismerete egyes szemészeti műtétek előtt igen fontos, a műtétek után pedig monitorozhatjuk a változásokat. Ezirányú vizsgálataink célja volt, hogy a különböző optikai eszközök elülső csarnok mélység mérési eredményeit értékeljük, és azokat összevessük a standard technikák adataival.

Az elülső szegmentum következő képlete a szemlencse, melynek műtétei a szemészet egyik legnagyobb ágát képzik. Manapság a cataracta műtéti megoldása a legsikeresebb sebészeti beavatkozások közé tartozik. A modern szürkehályogműtét egyben refraktív sebészeti beavatkozás is, melynek célja a korrekció nélküli látásélesség gyors javítása, a preoperatív corneális astigmatismus csökkentése valamint az elvesztett accomodatio lehetőség szerinti helyreállítása. A reziduális refraktív astigmatismus ismerten az egyik legfontosabb korlátozó tényező a látásélesség és a betegelégedettség szempontjából, műlencse beültetése után. Minden, a corneán végzett beavatkozás bizonyos fokú astigmatismust indukál. Már Donders megfigyelte 1864-ben, hogy a cataracta műtét során változik a corneális astigmatismus, Snellen pedig már 1869-ben javasolta a corneális sebést a legmeredekebb corneális tengelyben készíteni. A szürkehályogműtét során készített corneális incisio a sebkészítés tengelyében a cornea törőerejét csökkenti, a műtétileg indukált astigmatismus mértékét az incisio mérete, a seb alakja és helyzete is befolyásolja. Az astigmatismus csökkentésére a limbális relaxációs incisio, a corneális refraktív beavatkozásokon és a toricus műlencsék implantációján kívül egy lehetséges módszer a kettős corneális sebnítyítás (angolban: paired opposite clear corneal incision, OCCI) technikája, amit először Lever és Dahan írt le, 2000-ben. Ezirányú vizsgálatunkban egyrészt arra kerestük a választ, hogy 3,0 mm-es sebméret mellett az OCCI technika mennyivel nagyobb corneális astigmatismust indukál felül elhelyezett, temporális illetve ferde sebhelyzet mellett, mint egy szokványos corneális incisio. Másik célunk az volt, hogy elemezzük az OCCI technikával indukált astigmatismus változását és a változást befolyásoló tényezőket a posztoperatív időszakban.

A cataracta sebészet a mai modern műtéti technika mellett egyben refraktív sebészeti eljárás is. Az optikai rehabilitáció célja az egyre magasabb igényeknek megfelelően a tervezett posztoperatív refrakció elérése és a corneális astigmatismus fentebb említett tényezőket figyelembe vevő tervezett csökkentése. Azonban a cataractaműtét előtt elvégzett ultrahangos vagy optikai biometria számos hibalehetőséget rejt magában. A biometriai hibák forrásai elvileg tengelyhossz és keratometriai hibák lehetnek, de ma már döntően a posztoperatív elülső csarnok mélység becslésének hibája áll a háttérben. A megfelelő matematikai képlet alkalmazása mellett a biometria technikája is lényeges. Ismert, hogy a vízelőtétellel végzett immerziós biometria pontosabb, mint a kontakt applanációs biometria, az optikai biometriának pedig számos előnye és nagyobb mérési pontossága is ismert az ultrahangos mérésekkel összehasonlítva. Egyik vizsgálatunk célja az volt, hogy zárt immerziós kamrával, vízelőtétellel végzett ultrahangos biometria és az optikai biometria során kapott refraktív eredményeinket összehasonlítsuk egymással a különböző biometriai képletek konstansainak matematikai optimalizálása előtt és után.

A cataracta sebészet egyik fő célja a páciens és az operatőr által tervezett posztoperatív refrakciós cél elérése. A szürkehályogműtét utáni csarnokmélység becslése, vagyis a műlencse végső, axiális pozíciójának tervezése az egyik legfontosabb feladat a nem tervezett posztoperatív refrakciós hibák számának és mértékének csökkentése érdekében. A posztoperatív műlencse pozíció tervezési bizonytalansága egyike az elkerülhetetlen hibaforrásoknak a műlencse dioptriaértékének meghatározásában. Ez a hibaforrás az oka a posztoperatív tapasztalt, átlagosan 0,35 D-ás, azonban igen nagy szórású refrakciós hibának, más szavakkal, a pseudophakiás csarnokmélység becslési hibája felel az összes posztoperatív tapasztalt refrakciós hiba 22-38%-áért. Definíció szerint, az effektív műlencse-helyzet (angolban: effective lens position, ELP) a cornea másodlagos főtávjára és a beültetett műlencse vékonylencse-ekvivalens főtávjára közötti axiális távolság. Mivel a műtét után kialakuló

effektív, valódi műlencse-helyzet becslése -a preoperatív mérés lehetőségének értelemszerű hiánya miatt- tisztán matematikai feladat, ennek többnyire hibás volta egy biológiai mintán elkerülhetetlen. Emellett pedig az is ismert a klinikai gyakorlatból, hogy az objektív és szubjektív refrakciós hiba mértéke sok esetben különbözik egymástól.

A cataracta műtétei során az operátor egyik célja, hogy növelje a 0,5 D-ás refrakciós hibán belül eső szemek százalékos arányát, -ami ma maximum 75-80%-ra tehető-, és, hogy jelentősen csökkentse a nagyfokú, 1,5 D feletti refrakciós „meglepetések” számát. E témával kapcsolatos célunk az volt, hogy elemezzük a különbséget a cataracta műtét előtt mért, az SRK/T formula által becsült és a posztoperatív mért elülső csarnokmélységek között, Scheimpflug képalkotás segítségével. Másik célunk volt, hogy kapcsolatot keressünk e csarnokmélység-különbség és a posztoperatív elért szubjektív refrakciós hiba között.

A cataracta műtét célja sok esetben az accomodatio helyreállítása is lehet. A közeli tárgyak fixálása során aktív mechanizmusok segítségével a szem összesített törőereje megnő. Ezt a folyamatot alkalmazkodásnak, accomodationak hívjuk és döntően a musculus ciliaris aktív munkájának és a szemlencse alakváltozásának tulajdonítjuk. Számos, egymásnak részben ellentmondó teória ismert az alkalmazkodás folyamatának leírására. A szemészet jelenkori egyik legnagyobb kihívása a presbyopiás korral megjelenő, jelentősen lecsökkenő, majd megszűnő accomodatio helyreállítása, akár műtéti módon is. A human accomodatio mérése, valamint a szubjektív és objektív accomodatio elkülönítése fontos az alkalmazkodás fiziológiájának megértéséhez, egyes presbyopia ellenes műtétek hatásának vizsgálatához, és a különböző típusú műlencsék hatásvizsgálatához. Ahhoz, hogy megértsük az accomodatio folyamatát, e folyamat pontos, ismételhető és megbízható mérése elengedhetetlen. Az accomodatio mérése szubjektív és objektív módszerekkel végezhető. Monofocalis műlencse implantációját követően is megváltozhat accomodatiós inger hatására a szem szubjektív illetve objektív fénytörése. E jelenség, a pseudophakiás accomodatio háttérében többféle magyarázat állhat. Az enyhe fokú, myopiás, indirekt irányú corneális astigmatismus eleve segítheti a közeli visust, ugyanúgy, mint egyes emelkedett mértékű magasabb rendű aberrációk (döntően a szférikus illetve coma aberráció) illetve a pupilla szűkülésével együtt járó, blendéző, mélységélességet növelő hatás. Ezenkívül ismert egyes műlencsék a szem anteroposterior tengelye mentén megvalósuló minimális elmozdulása is. Egyik célunk az accomodatio témakörében az volt, hogy pseudophakiás szemeken vizsgáljuk meg az accomodatio amplitudóját két különböző típusú műlencse beültetése után, egy szubjektív és két, objektív módszerrel. Másik célunk pedig az volt, hogy phakiás és pseudophakiás szemeken vizsgáljuk és összehasonlítsuk a szubjektív tapasztalt és egy binocularis, open-field accomodometerrel objektíven mért accomodatiós amplitudót és pupillaméret-változást, valamint megfigyeljük az accomodatio során létrejövő elülső szegmentum változásokat Scheimpflug képalkotás segítségével.

3. Célkitűzések

Célom volt a cornea részletes anatómiai, fénytörési és biomechanikai vizsgálata, az elülső csarnok mélység vizsgálhatóságának elemzése és több, a szemlencsével kapcsolatos kérdés analízise. Vizsgálataimat az alábbi anatómiai/logikai sorrend szerint csoportosítottam:

1. A corneális átmérő vizsgálata különböző eszközökkel.
2. A cornea centrális vastagságának mérése különböző műszerekkel.
3. Egy képvezérelt eszköz keratometriás méréseinek vizsgálata.
4. A corneális astigmatismus vizsgálata az elülső és hátsó corneális felszínen.
5. A cataractaműtét során, sebészileg indukált corneális astigmatismus vizsgálata különböző sebtípusoknál a cornea elülső és hátsó felszínén.
6. A cornea magasabb rendű aberrációinak vizsgálata és életkori összefüggéseinek leírása.
7. Új típusú corneális biomechanikai paraméterek vizsgálata egészséges szemeken és keratorefraktív műtétek után.
8. Az elülső csarnok mélységének mérése különböző eszközökkel és a csarnokmélység életkorfüggésének vizsgálata phakiás és pseudophakiás szemeken.
9. A szürkehályogműtét során tervezett posztoperatív refrakciós cél pontosságának elemzése különböző biometriai technikákkal.
10. A cataracta műtétje után kialakuló effektív múltlencsehelyzet becslési hibája és a szubjektív látásélesség közti kapcsolat vizsgálata.
11. Az accommodatio amplitudójának mérése pseudophakiás szemeken, 3 módszerrel.
12. Az accommodatio vizsgálata phakiás és pseudophakiás szemeken, objektív módszerrel.

4. Módszerek

A corneális átmérővel kapcsolatos, a keratometriai, a pachymetriai, a biomechanikai mérések egy részénél, az aberrometriai és elülső csarnok mélység méréseknél egészséges önkénteseket vizsgáltunk, akik a vizsgálat során minimum 20/25 Snellen ekvivalens távoli látásélességgel rendelkeztek és cataractán illetve kisebb, mint 3,0 D szférikus és/vagy kisebb, mint 1,5 D cylinderes refrakciós hibán kívül egyéb szemészeti eltéréssel nem rendelkeztek. Az astigmatismus vizsgálata során ez utóbbi kritériumok nem szolgáltak kizáró okként. Korábbi szemészeti műtéten átesett pácienseket nem vontunk be, kivéve a Pentacammal, pseudophakiás szemén vizsgált elülső csarnok mélység és accomodatio vizsgálatoknál illetve a keratorefraktív műtétek után végzett biomechanikai vizsgálatoknál. A műlencsetervezéssel és az effektív műlencsehellyel kapcsolatos vizsgálatok cataractaműtét után zajlottak, de korábbi, egyéb műtét ezen szemeken sem történt. Kontaktlencsét viselő páciens a vizsgált betegcsoportok esetén nem volt.

A biometriai számítások és az effektív műlencsehellyel kapcsolatos vizsgálataink esetén lege artis phacoemulsificatiós műtét, tokzsákba implantált műlencse és a posztoperatív szakban elért minimum 0,1-es logMAR visusérték voltak a feltételek. Kizártunk minden olyan beteget az elemzésből, akiknél a cataractán kívül preoperatív szemészeti elváltozás volt, ha anamnézisükben korábbi szemészeti műtét szerepelt, vagy ha intraoperatív komplikáció adódott. A műtétek után stabil refraktív állapotban értékeltük a látásélességet szubjektív refrakciós tesztel. Emellett meghatároztuk a Holladay, Hoffer-Q és a Haigis formulák esetén is a várható posztoperatív refrakciós hibák értékeit.

A biometriai képletek optimalizálásához először az ultrahangos eszköz leírásában is elérhető matematikai képletek bekerültek egy MicroSoft Excel munkafüzetbe. Az összes betegnél, mérési csoportonként kiszámítottuk az SRK/T képlet mellett tervezett és beültetés után elért posztoperatív eredményeink különbségét („refraktív hiba”), majd meghatároztuk a többi képlet mellett létrejövő feltételezett refraktív hibák mértékeit. Az optimalizálást egy nem-lineáris optimalizálásra alkalmas eszközzel végeztük, a MicroSoft Excel Solver beépülő modulja (plug-in) segítségével. A Solver elnevezésű plug-in képes egy meghatározott, akár függvényeket is tartalmazó adattáblázatban a célcella, vagyis a kimeneteli eredmény (jelen esetben a refraktív hiba) meghatározott értékű vagy előjelű megváltoztatására (jelen esetben cél a refraktív hiba minimalizálása volt) úgy, hogy bizonyos, a felhasználó által meghatározott cellák értékeit változtatja (jelen esetben ez az A-konstans volt), miközben egyes korlátozó feltételek teljesülnek (jelen esetben azonos volt a betegcsoportban az A-konstans és az A-konstans pozitív érték volt). Mindkét vizsgált betegcsoport esetén az optimalizálás előtt és után is kiszámítottuk az átlagos refrakciós hibát, amit a tervezett posztoperatív refrakciós céltól való eltérések átlagaként definiáltunk és meghatároztuk a 0,5 D-ás posztoperatív refraktív hibán belül eső szemek százalékos arányát.

Statisztikai analízis

A statisztikai analíziseket a MedCalc 10.0 (MedCalc Software, Ostend, Belgium) és a Microsoft Excel (Microsoft, Redmond, Washington DC, USA) software-ekkel végeztük. Leíró statisztika esetén átlag, szórás (standard deviatio, SD) értékeket, mediánt, mérési tartományt (range), az átlag 95% confidencia intervallumát (95% CI) illetve interquartilis tartományokat (IQR) adtuk meg. Az adatok normál eloszlását a Kolmogorov-Smirnov teszttel vizsgáltuk. Ha a normális eloszlást elvetettük ($p < 0,05$), non-parametrikus tesztek alkalmaztunk. Wilcoxon illetve Mann-Whitney U tesztet használtunk az egyes adatcsoportok összehasonlítására, kettőnél több adatcsoport összehasonlításánál

ANOVA tesztet végeztünk. Spearman tesztet használtunk a korrelációk kiszámítására. Bland-Altman analízist illetve ábrázolást végeztünk egyes műszerek közti különbségek leírására és meghatároztuk az egyezési határ (limits of agreement, LoA; átlagos különbség \pm a különbség szórásának 1,96-szorosa) értékeit. Lineáris regressziós analízist végeztünk a magasabb rendű aberrációk életkorfüggésének számítása során. A statisztikai analízisek során $p=0,05$ szignifikanciaszintet alkalmaztunk.

Az elülső szegmentum optikai coherentia tomographos (OCT) és a corneális biomechanikai vizsgálatok során mérési ismételhetőséget is számoltunk. Ennek leírásához intraobserver variációs koefficiens (CV), a reprodukálhatóság megítéléséhez pedig interobserver CV-t és megbízhatósági (reliabilitási) koefficiens számoltunk. Osztályon belüli (intraclass) korrelációs koefficiens (ICC) is meghatároztunk, ami egy mérési sorozat megbízhatóságát jellemzi, ennek 95% CI értékével együtt. Az ICC adatok alapján gyenge ($<0,75$), közepes ($0,75-0,9$) és jó ($>0,9$) ismételhetőségi értékekről írtunk. Meghatároztuk a Cronbach alfa értékeit is.

Többszörös regressziós analízist végeztünk a CorVis ST specifikus paraméterei és az életkor, a tengelyhossz valamint a keratometriai adatok között, és meghatároztuk a determináltsági koefficienseket. Minden paraméter esetén kiszámítottuk az átlagos variációs koefficiens.

A keratometriai mérések összehasonlítása esetén a corneális mért értékeket J_0 és J_{45} vektorkomponensekre bontottuk Thibos és munkatársai ajánlása szerint, és ezen vektoradatokat elemzését végeztük. A J_0 vektorkomponens a direkt- illetve negatív szám esetén az indirekt corneális astigmatismus mértékét fejezi ki, a J_{45} vektorkomponens pedig pozitív szám esetén a 135 fok körüli, negatív szám esetében pedig a 45 fok körüli, ferde astigmatismus mértékét mutatja. A sebészileg indukált corneális astigmatismus (angolban SIA, surgically induced astigmatism) vektorának mértékét és irányát a Holladay-Cravy-Koch féle vektor analízis módszerrel számoltuk ki az automata keratometria illetve a Pentacam HR keratometria alapján a pre- és posztoperatív, átlagolt eredményeket figyelembe véve. Az SPSS DeltaGraph software-t használtuk az indukált astigmatismus vektorok analízisének az esetek polar-grafikonokon történő egyenkénti megjelenítéséhez.

A vizsgálataink során számos szemészeti műszert használtunk: szemészeti ultrahangot és ultrahangos pachymetert, Pentacamot, Pentacam HR-t, Visante OCT-t, Grand Seiko WAM-5500 accomodometert, IOLMastert, ACMastert, VERION készüléket és CorVis ST-t.

Vizsgálatainkat a Helsinki Deklaráció alapelveinek megfelelően és a Debreceni Egyetem Klinikai Központ Tudományos Bizottságának Regionális és Intézményi Kutatásetikai Bizottsága engedélye alapján (protokoll azonosító: DE OEC RKEB/IKEB 4071-2013) végeztük. Műtéttel kapcsolatos vizsgálataink esetén minden páciens beleegyező nyilatkozatot írt alá a műtét illetve beavatkozás ismertetése után.

5. Az eredmények összefoglalása és megbeszélése

5.1 A corneális átmérő vizsgálata különböző eszközökkel

5.1.1 Módszer

Prospektív vizsgálatot végeztünk, melynél kizáró ok volt bármilyen elülső szegmentum rendellenesség és a több, mint 1,0 D-ás szférikus vagy cylinderes korrekció. Először IOLMasterrel határoztuk meg a horizontális corneális átmérőt, szemenként három-három alkalommal. Az IOLMasterrel ezenkívül meghatároztuk a tengelyhosszat és az elülső csarnok mélységét is. Ezután Visante OCT készülékkel mértük horizontálisan és vertikálisan a csarnokzugok legnagyobb távolságát, 3 különböző képen, a refrakciós értéket a páciens távoli fénytöréséhez beállítva, hogy az accomodációs ingert csökkentsük. A két műszerrel mért minden mérést ugyanaz a tapasztalt szemész végezte, nem ismervén a másik műszer által kapott eredményeket.

5.1.2 Eredmények

54 páciens 91 szemét vontuk be a vizsgálatainkba (életkor átlag 66,55 év; SD: 12,96 év; range: 27-85 év; 95% CI: 58,13-67,33 év). IOLMasterrel a horizontális corneális átmérő átlagosan 11,99 mm (SD: 0,47 mm; 11,0-13,3 mm között; 95% CI: 11,85-12,05 mm) volt, a tengelyhossz átlaga 23,31 mm (SD: 1,52 mm; range: 20,92-30,96 mm; 95% CI: 22,95-23,59 mm), az anatómiai elülső csarnok mélység átlaga pedig 2,99 mm (SD: 0,4 mm; range: 1,63-4,01 mm; 95% CI: 2,88-3,05) volt.

Az elülső szegmentum optikai coherentia tomograph-al a horizontális ATA átlaga 11,43 mm (SD: 0,51 mm; range: 10,21-12,72 mm; 95% CI: 11,35-11,56 mm) volt, a vertikális ATA pedig átlagosan 10,72 mm (SD: 0,66 mm; range: 9,02-12,5 mm; 95% CI: 10,66-10,94 mm). A WTW távolság statisztikailag szignifikánsan nagyobb volt, mint a horizontális ATA távolság, a horizontális ATA mértéke pedig szignifikánsan magasabb volt a vertikális ATA távolságnál (mindkét $p < 0,01$). Szignifikáns korreláció volt igazolható a WTW távolság és a horizontális ATA érték ($r = 0,51$, $p < 0,01$), a vertikális ATA érték ($r = 0,32$, $p < 0,01$), a szem tengelyhossza ($r = 0,45$, $p < 0,01$), és a vizsgált egyén életkora között ($r = -0,28$, $p = 0,023$).

A WTW távolság és az elülső csarnok mélysége között szintén szignifikáns korreláció volt ($r = 0,55$, $p < 0,01$), azonban a horizontális és vertikális ATA távolság között nem volt szignifikáns a korreláció ($r = -0,02$, $p = 0,79$). Az elülső szegmentum OCT-vel mért horizontális ATA és az ACD között nem igazoltunk szignifikáns korrelációt ($r = 0,18$, $p = 0,15$). Bland-Altman analízis 0,51 mm-es átlagos különbséget igazolt (limits of agreement: -0,45-1,46 mm) a WTW és a horizontális ATA távolság között.

5.1.3 Megbeszélés

A szem elülső szegmentum paramétereinek pontos ismerete a refraktív célú szemsebészetben, például phakiás műlencse beültetések esetén is elengedhetetlen. Ezen műlencsék beültetésénél, logikai megfontolásból is a csarnokzugok illetve a sulcusok legnagyobb mérete a döntő, azonban a jelenlegi szemészeti gyakorlatban ezt nem tudjuk mérni. Ezért a műszeresen jól mérhető corneális átmérőt határozzuk meg és ebből az adatból következtetünk a valódi anatómiai helyzet leírásához szükséges csarnokzugi értékekre. Vizsgálataink azt igazolták, hogy ezen két érték nem cserélhető fel

egymással, sőt a horizontálisan és vertikálisan mért adatok (ATA távolságok) is különböznek. Mivel a csarnokzugok legnagyobb távolsága számít a gyakorlatban a phakiás műlencsék helyzetének anatómiai tervezéséhez, úgy tűnik, nem elegendő a corneális átmérőből következtetni a horizontális csarnokzug-távolságra. Emellett figyelembe kell/kellene venni, hogy az életkor előrehaladásával szignifikánsan csökken a cornea horizontális átmérője.

5.2 A cornea centrális vastagságának mérése különböző eszközökkel

5.2.1 Módszer

Az első vizsgálatunkban egészséges szemeken öt-öt mérést végeztünk egy PCI technikát alkalmazó eszközzel (ACMaster, Zeiss), majd felszíni érzéstelenítés után ultrahangos corneavastagság mérést végeztünk egy kontakt pachymeter-rel (AL-2000, Tomey) a cornea centrális részén. Mindkét módszerrel 5-5 alkalommal mértük a cornea vastagságát, ultrahangos mérés esetén helyi érzéstelenítést követően. A második vizsgálatunkban elülső szegmentum OCT-vel (Visante OCT), Pentacam HR-el és szemészeti ultrahanggal (AL-2000, Tomey) mértünk, szemenként 3-3 alkalommal.

5.2.2 Eredmények

a. Partialis coherentia interferometriával és szemészeti ultrahanggal

A centrális corneális vastagságot 70 páciens 136 szemén mértük (életkor átlaga: 66,2 év; SD: 11,3 év; range: 36-86 év). A cornea átlagos vastagsága 531,2 μm (SD: 3,9 μm) volt a PCI eszközzel és 547,8 μm (SD: 36,0 μm) az ultrahangos készülékkel, a különbség szignifikáns volt ($p < 0,001$). A jobb és bal szemek eredményei között nem figyeltünk meg szignifikáns különbséget ultrahangos módszerrel sem. A variációs koefficiens 0,73% volt PCI módszer esetén és 6,5% volt az ultrahangos mérést tekintve. A két módszer eredményei jól korreláltak egymással ($r = 0,91$, $p < 0,001$).

b. Elülső szegmentum OCT-vel, Pentacam HR-el és szemészeti ultrahanggal

45 páciens 45 szemén (életkor átlag: 62,73 év; SD: 15,31 év) végzett vizsgálatok szerint a centrális corneális vastagság átlaga 541,7 μm (SD: 39,9 μm) volt Visante OCT-vel, 549,7 μm (SD: 39,2 μm) Pentacam HR készülékkel és 534,3 μm (SD: 41,3 μm) ultrahangos készülékkel mérve (ANOVA $p = 0,52$). A Pentacammal mért corneális vastagság jól korrelált az ultrahangos ($r = 0,89$; $p < 0,001$) és a Visante OCT mérésekkel ($r = 0,88$; $p < 0,001$).

5.2.3 Megbeszélés

A cornea vastagságának vizsgálata indokoltan kedvelt irodalmi téma, mivel ismerete rendkívüli fontosságú az elülső szegmentum számos műtétjének tervezése során, valamint a szemnyomásérték helyes megítéléséhez is. Ezirányú vizsgálataink célja az volt, hogy non-kontakt, különböző fizikai elv alapján működő diagnosztikus eszközök által mért adatokat összevessük egymással és a standard technikának számító ultrahangos mérés eredményeivel. Jellemző, és az irodalom által is többnyire megerősített, hogy az ultrahangos mérések nagyobb corneális vastagságot mutatnak az elülső szegmentum OCT-vel és a PCI technikával szemben, bár saját méréseink éppen OCT-vel mutattak nagyobb értékeket. A specular mikroszkópia és az Orbscan általában nagyobb corneális vastagságot

igazol, mint az ultrahangos mérés, a CorVis ST pedig a szintén Scheimpflug képalkotást alkalmazó Pentacammal, de az ultrahangos pachymetriával is azonos eredményt ad. A Placido-topographiát az elülső szegmentum OCT-vel kombináló Visante OMNI készülék kisebb corneális vastagságértékeket mér normál és keratoconusos szemeken is, mint a Pentacam. A különbözőségek háttérében feltételezhető, hogy az egyes eszközök esetén a reflexió helye különbözik a cornea hátsó felszínén (Descemet membrán, hátsó corneális felszín illetve az elülső csarnok). Emellett az ultrahangos mérés során alkalmazott érzéstelenítő is befolyásolhatja a mérési eredményt.

Méréseink igazolták, hogy a különböző eszközök által mért corneavastagság adatok egymással nem mindig cserélhetők fel. A magas és szignifikáns korrelációkat alapul véve, a különböző műszerekkel kapott centrális corneavastagság eredmények kellő óvatossággal átszámíthatóak egymásba. Egy adott páciens pachymetriai adatainak utánkövetése során mindig azonos módszerrel célszerű mérni ezt a szemészeti paramétert is.

5.3 Keratometriás vizsgálatok képvezérelt módszerrel

5.3.1 Módszer

A keratometriai adatok mérésére a „VERION Measurement Module” (Alcon) félautomata technikáját használtuk. Minden vizsgált szemről 3 felvételt készítettünk. A cornea leglaposabb és legmeredekebb tengelyben mért görbületi sugarait és a cylinder tengelyét rögzítettük a további számításokhoz. Ezután IOLMaster segítségével szintén mértük a keratometriai adatokat és rögzítettük a szemek tengelyhosszát is. A VERION rendszer ismételhetőségi adatait és az IOLMaster keratometriás adataival való egyezőségét és összehasonlíthatóságát elemeztük.

5.3.2 Eredmények

A méréseket 50 páciens 50 szemén végeztük (az életkor mediánja: 50,32 év; a medián 95% CI értéke: 37,26-58,06 év; range: 19,34-85,30 év), a cataractán kívül nem volt egyéb elülső szegmentumot érintő betegség. A VERION rendszer és az IOLMaster által mért keratometriai adatokat részleteiben az 1. táblázat mutatja. 27 szem esetén volt nagyobb, mint 0,75 D a corneális astigmatismus; 21 szemén pedig több, mint 1,0 D-t corneális astigmatismust mértünk. Az IOLMasterrel mért tengelyhosszértékek mediánja 23,51 mm volt (a medián 95% CI értéke: 23,12-23,93 mm; range: 21,39-25,36 mm).

A VERION rendszerrel kapott mérési ismételhetőség magas volt minden ezt jellemző adatot tekintve (2. táblázat). Amennyiben alacsony és magas astigmatismusú (kisebb illetve nagyobb, mint 1,0 D cylinderérték) szemekre bontottuk az adatainkat, nem figyeltünk meg szignifikáns különbséget a csoportok ismételhetőségi adatai között ($p=0,58$).

A VERION rendszer és az IOLMaster által mért keratometriás adatok J_0 vektorkomponensei közötti különbség átlagosan -0,03 D volt (az átlag 95% CI értéke: -0,08-0,01 D, range: -0,48-0,35 D), a J_{45} vektorkomponenst tekintve pedig -0,006 D (az átlag 95% CI értéke: -0,03-0,02 D, range: -0,35-0,29 D). A két műszer által mért astigmatismus legmeredekebb tengelyei közötti eltérés (VERION - IOLMaster) mediánja -1,0 fok volt (a median 95% CI értéke: -2,39 - 0,00 fok; range: -21-29 fok). 4 esetben az eltérés nagyobb volt, mint 15 fok és ezen szemek mindegyike a <1,0 D cylinderértékű csoportba tartozott. A VERION rendszer és az IOLMaster által mért keratometriás adatok J_0 vektorkomponensei közötti korreláció értéke $r=0,949$ volt ($p<0,001$), a J_{45} vektorkomponenst tekintve pedig $r=0,945$ ($p<0,001$). A szemek tengelyhossza és a J_0 vektorkomponensek két műszer által mért

különbség közötti korreláció nem volt szignifikáns ($r=0,070$; $p=0,60$), csakúgy, mint a J_{45} vektorkomponensek esetén sem ($r=0,304$; $p=0,03$). A J_0 vektorkomponens esetén a két műszer között a 95%-os LoA értéke $-0,29-0,24$ D volt, a J_{45} vektorkomponens esetén pedig $-0,2-0,19$ D.

	VERION rendszer	IOLMaster	p
A leglaposabb tengelyben mért keratometriás érték (D)	43,52 (95% CI: 42,87-43,88; range: 39,20-47,40)	43,41 (95% CI: 42,64-43,92; range: 39,11-47,47)	0,15
A legmeredekebb tengelyben mért keratometriás érték (D)	44,59 (95% CI: 44,09-45,24; range: 40,81-48,77)	44,38 (95% CI: 44,12-45,12; range: 40,81-48,56)	0,66
Az astigmatismus mértéke (D)	0,84 (95% CI: 0,65-1,03; range: 0,12-4,71)	0,93 (95% CI: 0,69-1,15; range: 0,20-4,61)	0,53
J_0 (D)	0,28 (95% CI: 0,12-0,34; range: -2,08-1,46)	0,27 (95% CI: 0,14-0,42; range: -2,14-1,56)	0,08
J_{45} (D)	-0,04 (95% CI: -0,16-0,03; range: -1,08-0,42)	-0,07 (95% CI: -0,12-0,00; range: -0,86-0,44)	0,82

1. táblázat: A keratometriai adatok a VERION mérőmoduljával és az IOLMaster-rel mérve. Az értékek leírása: medián, a medián 95% fiducia intervalluma (95% CI) és mérési tartomány (range); J_0 és J_{45} : Jackson féle keresztcylinder vektorkomponensei, p: statisztikai szignifikancia mértéke.

	ICC	az ICC 95% CI értéke	Cronbach alpha	A Cronbach alpha 95%-os alsó fiducia határa
A leglaposabb tengelyben mért keratometriás érték (D)	0,975	0,960-0,984	0,992	0,988
A legmeredekebb tengelyben mért keratometriás érték (D)	0,970	0,953-0,982	0,990	0,985
Az astigmatismus mértéke (D)	0,973	0,957-0,983	0,991	0,987
A lapos tengely meridiánja (fok)	0,994	0,991-0,996	0,998	0,997
J_0 (D)	0,977	0,964-0,986	0,992	0,988
J_{45} (D)	0,946	0,915-0,967	0,982	0,973

2. táblázat: A keratometriás mérések ismételhetőségi adatai a VERION mérőmoduljával. ICC: intraclass variációs koefficiens; 95% CI: 95% fiducia intervallum; J_0 és J_{45} : a Jackson féle keresztcylinder vektorkomponensei.

5.3.3 Megbeszélés

A keratometriai értékek és az astigmatismus pontos tengelyének meghatározása a cataracta sebészetében, különösen toricus műlencse tervezett implantációja esetén elengedhetetlen. Toricus műlencse implantációjánál minden foknyi tévedés a posztoperatív pozícióban 3,3%-os határfok-csökkenést eredményez. A VERION rendszerét egy teljes, cataractaműtét előtti grafikus segítség és elemzés elvárása hozta létre, mely döntően a toricus műlencsék egyre nagyobb számú beültetésével kapcsolatban felmerült igény.

A keratometriás mérések ismételhetőségének kérdése bármilyen új műszer, biometria eszköz mindennapi gyakorlatba való bevezetése esetén igen fontos. Vizsgálataink igazolták a VERION rendszer keratometriás mérésének igen magas ismételhetőségi értékét, így a műszer alkalmasnak bizonyult a cataracta sebészetben a corneális törőerők és ezek tengelyeinek meghatározásához. Néhány vizsgált szem esetén a standard eszközhöz képest a cylinderérték tengelyének eltérése klinikailag is jelentős volt (akár 29 fokos eltérés), de a legtöbb esetben a két műszer mérései közötti különbség nem volt jelentős, sem statisztikailag, sem klinikailag. Az említett néhány adat esetében nem figyeltünk meg magas keratometriás értéket, cylinderértéket vagy kirívó tengelyhosszot; ilyen esetekben csak a posztoperatív eredmények tudják eldönteni, hogy melyik műszer mérte a valós preoperatív értéket. Ezen szemek aránya nem elhanyagolható, így megerősíthető, hogy a pontos corneális törőerő meghatározása továbbra is jelentős probléma a szemészeti gyakorlatban, mely toricus műlencsék tervezése és implantálása esetén külön problémát jelent.

Összefoglalva, a keratometriás adatokat képvezérelt módszerrel mérő VERION rendszer mérőmodulja igen magas mérési ismételhetőséget bizonyított és a mérések többnyire kiváló egyezőséget igazoltak az egyik standard biometria eszköz keratometriás méréseivel összehasonlítva.

5.4 corneális astigmatismus vizsgálata az elülső és hátsó corneális felszínen

A reguláris corneális astigmatismust meridiánja alapján direkt astigmatismusként neveztük, ha a legmeredekebb corneális tengely 60 és 120 fok közé esett; indirektnak neveztük el, ha 0 és 30 illetve 150 és 180 közé esett a meredek tengely. Ferde astigmatismust definiáltunk, a meredek corneális tengely 30 és 60 fok illetve 120 és 150 fok között volt. A direkt astigmatismus definícióját szigorúbb határok közé szorítottuk (75-105 fok) a hátsó corneális felszínen mért sebészileg indukált astigmatismust elemző anyagunkban.

5.4.1 az elülső corneális felszínen

5.4.1.1 Módszer

15 év feletti, szemészeti vizsgálatra jelentkező pácienseken végeztük vizsgálatainkat, egészséges, korábban nem operált szemek esetén. IOLMaster segítségével tengelyhosszat, keratometriás mérést és elülső csarnok mélység meghatározást végeztünk.

5.4.1.2 Eredmények

Vizsgálatainkat 675 beteg 1092 szemén végeztük, IOLMasterrel. A nő/férfi arány 399/276 volt. A betegeink átlagos életkora 69,64 év (SD: 15,25 év) volt (range: 15-100 év), a nemek között nem volt életkori különbség ($p=0,5$). Az összes szemén mért átlagos tengelyhossz 23,32 mm (SD: 1,49 mm; 95% CI: 23,23-23,41 mm; range: 18,74-38,45 mm), az elülső csarnok átlagos mélysége 3,17 mm (SD: 2,03 mm; 95% CI: 3,02-3,33 mm; range:

1,63-5,5 mm) volt. Az összes általunk mért paraméter és az életkor esetén is a Kolmogorov-Smirnov teszt elvetette a normális eloszlást ($p < 0,001$). A laposabb tengely keratometriás értékének átlaga 43,53 D (SD: 1,56 D; 95% CI: 43,44-43,26 D; range: 37,85-49,3 D), míg a meredekebb tengelyé átlagosan 44,43 D (SD: 1,59 D; 95% CI: 44,33-44,52 D; range: 39,25-49,06 D) volt. Ezen értékek összefüggtek a páciens nemétől, férfiakban átlagosan 0,4 mm-el nagyobb tengelyhosszat, 0,14 mm-rel mélyebb elülső csarnokot és 0,35 D-val nagyobb keratometriás értékeket mértünk. Az astigmatismus átlagos mértéke 0,89 D (SD: 0,72 D; 95% CI: 0,85-0,94 D; range: 0,0-6,34 D) volt, e tekintetben nem volt lényeges különbség férfiak és nők között.

Az astigmatismus mértéke $\geq 0,5$ D volt 73,53%-ban, $\geq 1,0$ D 32,78%-ban, $\geq 1,5$ D 13,55%-ban, $\geq 2,0$ D 6,86%-ban, és $\geq 3,0$ D 2,47%-ban, a nemeket külön-külön vizsgálva lényeges eltérést nem találtunk. A teljes általunk vizsgált populációban a direkt astigmatismus 53,3%-ban, az indirekt 28,3%-ban, a ferde astigmatismus 18,4%-ban fordult elő.

Szignifikáns, negatív korrelációt igazoltunk az életkor és az elülső csarnok mélység ($r = -0,39$; $p < 0,001$), az életkor és a tengelyhossz ($r = -0,15$; $p < 0,001$), a tengelyhossz és a lapos keratometriás ($r = -0,54$; $p < 0,001$) valamint a meredek keratometriás ($r = -0,49$; $p < 0,001$) értékek között, mindkét nem esetében. Gyenge, de statisztikailag szignifikáns összefüggés volt az életkor és az astigmatismus nagysága ($r = -0,08$; $p = 0,01$) között.

Amennyiben életkorcsoportokra osztottuk az általunk vizsgált populációt, jelentős különbségek voltak megfigyelhetők, nemtől függetlenül. A 15-25 éves korcsoportban még 86,6%-os direkt astigmatismus arány 80 éves életkorra folyamatosan 43%-ra csökkent, miközben az indirekt astigmatismus előfordulási aránya 0%-ról 34%-ra emelkedett.

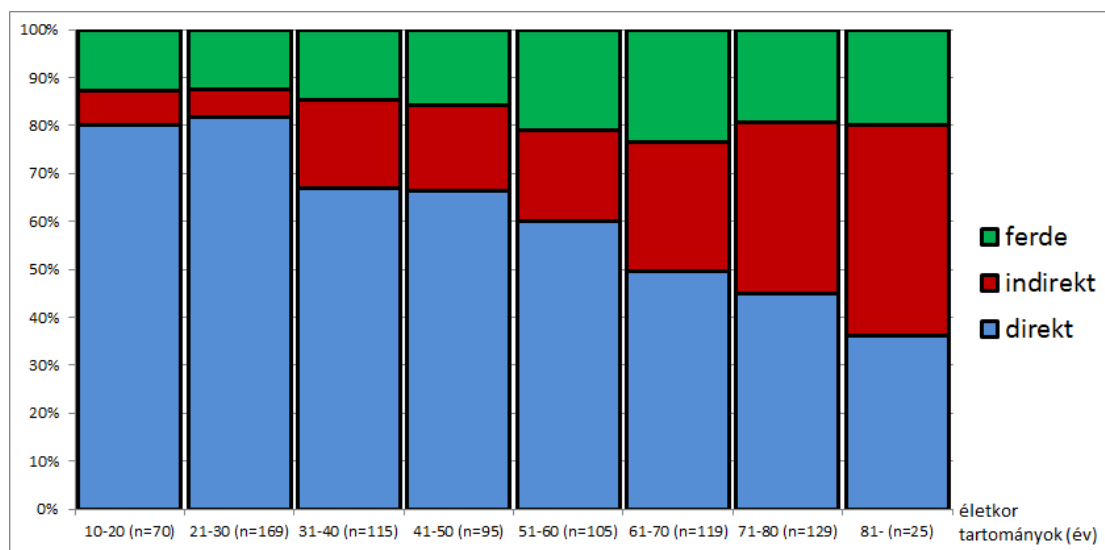
5.4.2 a hátsó corneális felszínen

5.4.2.1 Módszer

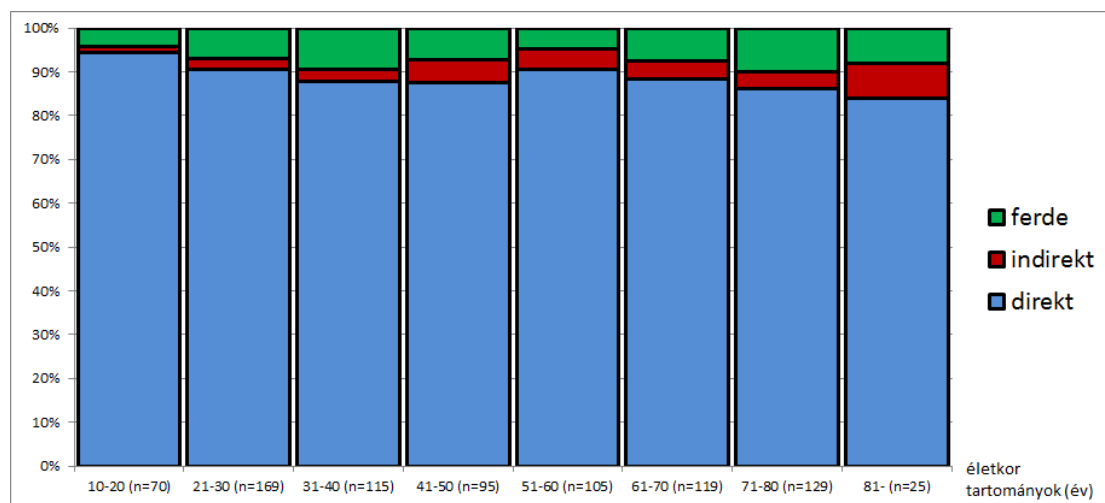
10 év feletti, szemészeti vizsgálatra jelentkező pácienseken végeztük elemzésünket, egészséges, korábban nem operált szemek esetén. Pentacam HR készülékkel mértünk a cornea centrális 3,0 mm-ét figyelembe véve, páciensenként egy szem adatait használva.

5.4.2.2 Eredmények

827 páciens 827 szemén végeztük ezirányú vizsgálatainkat. Az életkor mediánja: 46,81 év volt (a medián 95% CI értéke: 44,51-49,89 év; range: 10,0-90,33 év). A hátsó corneális astigmatismus mediánja 0,3 D volt, és több mint 0,5 D volt abszolút értékben a szemek 12,56%-ában. Az elülső és hátsó felszín görbületi sugarak arányának mediánja 1,217 volt (a medián 95% CI értéke: 1,215-1,219; range: 1,021-1,402). Ezen radiusérték és az életkor közt szignifikáns, negatív korrelációt figyeltünk meg ($r = -0,219$; $p < 0,001$), csakúgy, mint az elülső és hátsó corneális astigmatismus és az életkor közt ($r = -0,17$, $p < 0,001$ és $r = -0,116$, $p < 0,001$). Az elülső és a hátsó astigmatismus tengelye megegyezett 67,71%-ban és különbözött 32,29%-ban. Ez a különbség kisebb, mint 10 fok volt 385 szemén (46,55%) és kisebb, mint 33 fok volt 620 szemén (74,97%). Az elülső corneális felszínen a direkt astigmatismus aránya 80,0% volt 10-20 éves életkor közt, ami a 80 év feletti populációban 36,0%-ra csökkent, miközben az indirekt astigmatismus aránya 7,14%-ról 44,0%-ra emelkedett. A hátsó corneális felszínen a direkt astigmatismus aránya 94,29% volt a 10-20 éves életkortartományban, ami a 80 év feletti életkori csoportban 84,0%-ra csökkent, miközben a ferde astigmatismus aránya közel változatlan maradt (1. és 2. ábra).



1. ábra: Az elülső corneális astigmatismus meridiánjának változása az életkor előrehaladtával (n=827).



2. ábra: A hátsó corneális astigmatismus meridiánjának változása az életkor előrehaladtával (n=827).

5.4.3 Megbeszélés

A szem teljes astigmatismusának kétharmad részéért a cornea felelős. A corneális astigmatismust az elülső corneális felszín, a cornea vastagsága, a hátsó corneális felszín és a cornea refraktív indexe határozzák meg. A corneális astigmatismus csökkentése előtérbe került a keratorefraktív műtétek mellett a cataracta műtétnél is, mivel a korrigálatlan astigmatismus jelentősen rontja a posztoperatív látásélességet is.

Igazoltuk, hogy az életkor előrehaladásával a corneális astigmatismus nagysága a cornea elülső felszínén mérve változatlan marad, azonban iránya jelentősen, akár 90 fokban változhat. E ténynek klinikai, gyakorlati jelentősége lehet például fiatalabb páciens corneális astigmatismust korrigáló műtéti megoldása esetén.

A mai, standard technika mellett a corneális astigmatismus meghatározása a cornea elülső felszínének mérésével történik és a teljes corneára való konverziót a refraktív indexek módosításával és egy empirikus corneavastagság adat segítségével, matematikai számítással végzik a műszerek, hibásan feltételezve azt, hogy az elülső és hátsó felszín görbületi sugarainak aránya a teljes corneán állandó. A corneális teljes astigmatismus hibás meghatározása illetve eleve hibás számolása miatt nem várt refraktív hiba, vagyis refraktív sikertelenség léphet fel. 1995-ben az Orbscan, majd az Orbscan II hozta meg a lehetőséget a hátsó corneális felszín korábbanál részletesebb leképezésére. 2005-ben, a Pentacam megjelenése lendítette tovább a corneális hátsó felszín elemzését, majd e műszer nagyfelbontású verziója (Pentacam HR) vált még inkább meghatározóvá. A hátsó corneális felszín vizsgálható még Purkinje-meterrel, Sirius készülékkel és Galilei Dual Scheimpflug Analyzer-rel is, mely utóbbi két készülék a Scheimpflug képalkotást a hagyományos corneatopographiával ötvözi. Ismert a Placido-topographot az elülső szegmentum OCT-vel kombináló eszköz (Visante OMNI), és a színes LED fényforrás segítségével elülső és hátsó corneális topographiát elemző készülék is (Cassini).

Scheimpflug-kamerás vizsgálataink igazolták azt, hogy a hátsó corneális astigmatismus mértéke átlagosan 0,3 D, ami az eseteink 12,5%-ában lépi túl a klinikailag is figyelmet indokló 0,5 D-ás mértéket. A hátsó corneális astigmatismus meridiánja az elülső corneális felszínével ellentétben, nem változik jelentősen az életkor előrehaladtával. Ezért figyelembe kell venni, hogy a hátsó felszín részleges, corneális astigmatismust kompenzáló szerepe inkább fiatal életkorban valósul meg, idősebb életkorban viszont növeli az indirekt astigmatismus mértékét.

Ma már ismertté vált az a tény, hogy a toricus műlencse kalkuláció pontosabb, ha az elülső corneális felszín mellett a hátsóval is számolunk. A toricus műlencse dioptriáját a számítások szerint túlbecsüljük direkt astigmatismus esetén és alulbecsüljük indirekt esetben, amennyiben csak az elülső felszínt vesszük figyelembe. Sorban jelennek meg olyan online kalkulátorok, melyek a posterior corneális felszín adatait is felhasználják és ezekkel módosítják a toricus műlencse cylinderértékét.

Összefoglalva, a corneális astigmatismus mértéke IOLMasterrel mérve mintegy 1,0 D, és több, mint 32%-ban 1,0 D feletti. A cornea hátsó felszín astigmatismus mediánja pedig -0,3 D és nagyrészt független az elülső felszín astigmatismus mértékétől. Ellentétben a cornea elülső felszínével, nincs jelentős életkori változása. Mértéke minden nyolcadik szemén nagyobb, mint 0,5 D, mely adat kiemelt figyelmet érdemel a cataracta műtét során a megfelelő refrakciós eredmény elérése szempontjából, különösen toricus műlencse tervezett beültetése esetén.

5.5 A sebészileg indukált corneális astigmatismus vizsgálata különböző sebtípusoknál a cornea elülső és hátsó felszínén

5.5.1 a sebészileg indukált astigmatismus a cornea elülső felszínén, egyszeres illetve kettős corneális sebzés esetén

5.5.1.1 Módszer

Prospektív tanulmányunk esetén bármilyen előzetes szemészeti műtét, trauma, corneális betegség vagy igazolt irreguláris astigmatismus kizáró okként szerepelt. A vizsgált szemeket két csoportra osztottuk: <1,0 D preoperatív corneális astigmatismus alatt egy

megszokott clear corneális sebet készítettünk (CC csoport, $n=245$), $\geq 1,0$ D preoperatív corneális astigmatismus felett pedig kettős clear corneális metszést (angolban: paired opposite clear corneal incision, OCCI) végeztünk (OCCI csoport, $n=81$). E két csoporton belül felső, temporális és ferde alcsoportokat állítottunk fel a meredek corneális tengely szerint. A 0-30 és a 150-180 fokokos tengelyek közti legmeredekebb keratometriás adatok esetén indirektként, a 30-60 és a 120-150 fokokos tengelyek közt ferdeként, a 60-120 fokokos tengelyek közt direkt astigmatismusként definiáltuk a corneális astigmatismus meridiánját.

Minden műtét előtt keratometriás mérést végeztünk IOLMaster készülékkel és a három, automatán mért érték gép által kalkulált átlagával számoltunk a továbbiakban. A műtétet ugyanaz a tapasztalt szemsebész végezte felszíni érzéstelenítés mellett, coaxialis technikával. A kétlépcsős, clear corneális sebkészítést a keratometriás mérés alapján meghatározott legmeredekebb corneális tengelyben végeztük 1,0 mm-rel a limbus előtt, 3,0 mm-es ClearCut késsel (Alcon Laboratories, Fort Worth, Texas, USA). Az 1,2 mm-es paracentesist a fősebtől balra, 60 fokra készítettük. A fősebet a műlencse implantációhoz egy esetben sem kellett megnagyobbítani. 113 esetben felső, 53 esetben temporális és 79 esetben ferde helyzetben készült a CC seb.

Az OCCI csoportban a műtét végén, a viscoelasticus anyag eltávolítása közben készítettük az eredeti sebtől 180 fokra a második 3,0 mm-es CC incisiót, miközben az aspiráló kézifej a szemben volt, hogy a bulbus tónusát fenntartva szabályos sebet tudjunk készíteni. 38 esetben felső, 23 esetben temporális és 20 esetben ferde helyzetben készült a második clear corneális metszés.

A műtétek végén a fő sebet hidráltuk, az OCCI technika esetén ejtett második sebet nem. Posztoperatív műtéti kezelésként 1 hétig levofloxacin és dexamethason szemcsepp kombinációt adtunk, majd további 4 hétig csak dexamethason tartalmú szemcseppet kapott minden páciens, napi ötszöri használattal. A műtétek után $2,13 \pm 0,4$ héttel és $8,9 \pm 0,6$ héttel a szemek teljes refrakcióját és a keratometriás értékek meghatározását ismételt IOLMaster készülékkel végeztük és az automatán mért 3 adat átlagával dolgoztunk tovább.

5.5.1.2 Eredmények

326 cataracta műtetre váró páciens 326 szemét válogattuk be ebbe a vizsgálatba. A betegeink átlagos életkora 71,5 év (SD: 8,5 év) volt a CC csoportban, és 71,02 év (SD: 13,26 év) az OCCI csoportban ($p=0,7$). A tengelyhossz átlaga 23,4 mm (SD: 1,66 mm) volt a CC és 23,57 mm (SD: 2,28 mm) az OCCI csoportban ($p=0,61$). Nem figyeltünk meg az OCCI csoportban sem a sebkészítéssel összefüggésbe hozható szövődményt. Amennyiben a CC és OCCI csoportokat felső, ferde és temporális alcsoportokra osztottuk, látható volt, hogy a CC sebek astigmatismus indukciója függ a seb helyzetétől (ANOVA $p=0,03$), az OCCI sebek esetén viszont az indukált astigmia nagysága független a sebek helyzetétől (ANOVA $p=0,9$). A posztoperatív 9. héten az indukált astigmatismus klinikailag is minimálisan, de statisztikailag sem szignifikánsan kisebb, mint a 2. hét után ($p>0,05$ minden esetben) mind a 6 alcsoportot tekintve. Pre- és posztoperatív adatainkat részletesen a 3. táblázat mutatja, a hat alcsoport adatait pedig a 4. táblázat tartalmazza.

Szignifikáns, pozitív korrelációt találtunk a preoperatív corneális astigmatismus és a 2 hetes és 9 hetes összesített indukált astigmatismus nagysága vonatkozásában ($r=0,32$ és $r=0,35$; $p<0,001$), valamint gyenge, de statisztikailag szignifikáns összefüggés mutatható ki az életkor és a 2. és 9. hetes összesített indukált astigmatismus nagysága között is ($r=0,15$; $p=0,01$ és $r=0,16$; $p=0,01$).

	CC csoport (n=245)			OCCI csoport (n=81)			p
	átlag (SD)	95% CI	range	átlag (SD)	95% CI	range	
életkor (év)	71,50 (8,50)	70,42-72,57	42,01-93,32	71,02 (13,26)	68,01-73,95	32,6-93,6	0,72
tengelyhossz (mm)	23,4 (1,66)	23,18-23,6	19,05-37,61	23,57 (2,28)	23,06-24,07	21,6-38,45	0,61
preoperatív K ₁ (D)	43,68 (1,42)	43,4-43,47	39,43-48,55	43,56 (1,70)	43,19-43,91	39,87-48,88	0,33
preoperatív K ₂ (D)	44,23 (1,48)	44,02-44,41	40,18-49,06	44,58 (1,67)	44,23-44,95	40,74-49,9	0,25
preoperatív astigmatismus (D)	0,61 (0,35)	0,55-0,67	0,05-0,99	1,06 (0,34)	0,99-1,15	1,00-3,91	<0,001
posztoperatív K ₁ (D)	43,67 (1,48)	43,48-43,85	39,47-49,10	43,62 (1,61)	43,25-43,98	40,08-47,34	0,6
posztoperatív K ₂ (D)	44,39 (1,53)	44,19-44,58	40,13-50,07	44,50 (1,71)	44,11-44,88	40,86-49,49	0,97
posztoperatív astigmatismus	0,74 (0,45)	0,68-0,81	0,00-2,84	0,86 (0,68)	0,71-1,01	0,00-3,72	0,42
indukált astigmatismus, 2 hét (D)	0,67 (0,44)	0,61-0,72	0,04-2,93	1,15 (0,65)	0,97-1,26	0,05-3,6	<0,001
indukált astigmatismus, 9 hét (D)	0,61 (0,43)	0,55-0,66	0,05-2,5	0,99 (0,57)	0,86-1,11	0,17-3,23	<0,001

3. táblázat: Összefoglaló adatok pácienseinkről, két csoportra bontva (CC és OCCI csoport). CC: egyszeres clear corneális incisiós csoport, OCCI: két, egymással szemközt nyitott clear corneális incisiós betegek csoportja, K₁: keratometriás érték a leglaposabb tengelyben, K₂: keratometriás érték a legmeredekebb tengelyben, 95% CI: az átlag 95%-os fiducia intervalluma.

indukált astigmia mértéke (D)		posztoperatív 2. hét			p (CC vs. OCCI)	posztoperatív 9. hét			p (CC vs. OCCI)
		átlag (SD)	range	95% CI		átlag (SD)	range	95% CI	
felső	CC	0,74 (0,49)	0,11-2,75	0,64-0,80	<0,001	0,68 (0,46)	0,05-2,35	0,61-0,76	<0,001
	OCCI	1,12 (0,65)	0,12-3,54	0,89-1,30		0,97 (0,58)	0,31-3,23	0,78-1,17	
ferde	CC	0,61 (0,33)	0,04-1,88	0,52-0,67	<0,001	0,56 (0,39)	0,05-1,83	0,47-0,62	<0,001
	OCCI	1,01 (0,58)	0,23-2,41	0,82-1,32		1,04 (0,6)	0,16-2,61	0,74-1,32	
temporális	CC	0,63 (0,35)	0,07-2,02	0,52-0,72	p=0,001	0,52 (0,37)	0,12-1,84	0,41-0,61	<0,001
	OCCI	1,11 (0,65)	0,05-2,71	0,81-1,42		0,96 (0,55)	0,22-1,98	0,72-1,23	

4. táblázat: Összefoglaló táblázat a sebészileg indukált astigmatismusról egyszeres (CC csoport) és kettős (OCCI csoport) corneális sebnyitás után. A corneális seb helyzete szerint felső, ferde és temporális csoportokat különítettünk el, az adatokat a műtét után 2 illetve 9 héttel is feltüntettük. 95% CI: az átlagérték 95% fiducia intervalluma.

5.5.1.3 Megbeszélés

A szürkehályog műtét egyik fontos célja csökkenteni, de legalábbis nem növelni a preoperatív meglévő corneális astigmatismust. A modern cataracta műtét során ma többnyire clear corneális sebnyitást alkalmazunk, az e során létrehozott corneális astigmatismus változását hívjuk sebészileg indukált astigmatismussnak. Ismert, hogy a corneális sebnyitás a corneát a sebnyitás tengelyében a sebgyógyulás során ellapítja, és a keletkező astigmatismus indukciója függ a seb tulajdonságaitól. Az irodalomban közölt második legnagyobb esetszámú

vizsgálataink szerint a 2. hét után, a 9. hétig van ugyan egy bizonyos csökkenés az indukált astigmatismusban, de ez a statisztikai szignifikancia határát nem haladja meg és klinikailag sem jelentős, egyszeres és OCCI sebek esetén sem.

A felül elhelyezett sebek nagyobb és indirekt astigmatismust, a temporális sebek pedig kisebb és direkt astigmatismust indukálnak. A temporális sebek kisebb astigmatismus indukációjának hátterében az állhat, hogy a sclerocorneális rostok függőleges lefutása miatt kevesebb rost átvágását végezzük ilyen sebeknél, valamint, hogy a cornea mintegy 1,0 mm-el nagyobb átmérőjű horizontálisan, mint vertikálisan.

Összefoglalva, az OCCI technika egy egyszerű, külön költség nélküli beavatkozás azon esetekben, ha 1,0-1,5 D közötti corneális astigmatismust mérünk a tervezett szűrkehályog műtét előtt. Ilyen esetekben viszonylag jól kiszámítható eredményt mutat a seb, illetve az egymással szemközt elhelyezett két incisio tengelyétől lényegében függetlenül, és ez az eredmény számottevően nem változik a posztoperatív időben sem.

5.5.2 a sebészileg indukált astigmatismus vizsgálata a hátsó corneális felszínen

5.5.2.1 Módszer

A preoperatív vizsgálatok után minden szemről három felvételt készítettünk a Pentacam HR készülékkel és csak azon adatokat dolgoztuk fel, ahol az automata képkészítés nem jelzett hibát illetve adathiányt. Olyan páciensek adatait elemeztük, akiknél a corneális astigmatismus meridiánja vertikális volt. Kiszámítottuk azon szemek arányát, ahol a hátsó corneális astigmatismus illetve a hátsó corneán mért indukált astigmatismus mértéke 0,5 D felett volt, minthogy klinikai jelentőség e dioptriaérték felett lehet.

A phacoemulsificációs műtéteket ugyanaz az operatőr végezte, ugyanazon, coaxiális technikával. A clear corneális incisio 2,8 mm-es "double bevel" késsel történt (Kai Europe GmbH, Németország), minden esetben felül. Az 1,2 mm-es paracentesis 60 fokra balra volt a fősebtől. Az injektoros műlencsebeültetés a seb megnagyobbítása nélkül zajlott. A műtét után levofloxacin és dexamethason szemcsepp kombinációt kapott minden páciens. A posztoperatív vizsgálat során ismételt felvételt készítettünk Scheimpflug kamerával.

5.5.2.2 Eredmények

88 páciens 88 szemét vizsgáltuk, a beválogatáshoz feltétel volt a direkt corneális astigmatismus, de a szokásosnál szigorúbb kritériumként a 75 és 105 fok közötti legmeredekebb tengely esetén definiáltuk csak direktként az astigmatismust. A pácienseink átlagos életkora 70,62 év volt (SD: 9,24 év; 46,4-87,5 év között; az átlag 95% CI értéke: 68,66-72,58 év). A tengelyhossz értéke átlagosan 23,4 mm volt (SD: 1,37 mm; 20,58-30,8 mm között; az átlag 95% CI értéke: 23,12-23,74 mm) IOLMasterrel mérve. A műtétek előtt, majd átlagosan 8,65 héttel (SD: 2,4 hét) a műtétek után, minden szem keratometriás adatait Scheimpflug kamerával vizsgáltuk. A preoperatív hátsó corneális astigmatismus több, mint 0,5 D volt 10 szemén (11,36%). Az elülső és hátsó corneális keratometriás adatainkat és a sebészileg indukált astigmia adatokat az 5. és 6. táblázat mutatja.

A hátsó corneális felszín preoperatív és posztoperatív K_1 és K_2 értékei közötti különbség szignifikáns mértékű volt ($p=0,03$ és $p=0,002$). A sebészileg indukált astigmatismus mértéke a hátsó felszínen átlagosan 0,32 D volt (SD: 0,29 D 0,02 és 1,34 D között, az átlag 95% CI értéke: 0,24-0,38 D) és 0,5 D vagy annál nagyobb volt 22 szemén (25,00%). A hátsó

felszín preoperatív astigmatismusa és a hátsó felszínen mért sebészileg indukált astigmia mértéke között statisztikailag szignifikáns korrelációt mutattunk ki ($r=0,34$; $p=0,001$). A sebészileg indukált astigmia nagysága az elülső corneális felszínen átlagosan 0,49 D volt (SD: 0,29 D; az átlag 95% CI értéke: 0,42-0,56 D; range: 0,08-1,48 D). Az elülső és hátsó felszínen indukált astigmia nagysága között nem volt szignifikáns a korreláció ($r=0,10$; $p=0,36$). Az elülső és hátsó felszínen indukált astigmatvektorok meridiánjai között különbség kisebb, mint 15 fok volt 14 szemén (15,91%), nagyobb, mint 45 fok volt 48 szemén (54,54%) és több, mint 90 fok volt 16 szemén (18,18%).

	átlag	SD	95% CI	minimum	maximum
hátsó corneafelszín, preoperatív K_1 (D)	-6,09	0,23	-6,15- -6,05	-6,53	-5,63
hátsó corneafelszín, preoperatív K_2 (D)	-6,37	0,26	-6,43- -6,32	-7,20	-5,70
hátsó corneafelszín, posztoperatív K_1 (D)	-6,11	0,22	-6,16- -6,06	-6,65	-5,70
hátsó corneafelszín, posztoperatív K_2 (D)	-6,44	0,29	-6,51- -6,38	-7,56	-5,80
sebészileg indukált astigmatismus a cornea hátsó felszínén (D)	0,31	0,33	0,24-0,38	0,02	1,39
preoperatív hátsó corneális astigmatismus (D)	0,29	0,14	0,26-0,32	0	0,83

5. táblázat: Keratometriás adatok és cataractaműtét során sebészileg indukált astigmatismus a cornea hátsó felszínén Scheimpflug képalkotással vizsgálva ($n=88$). K_1 : keratometriás érték a leglaposabb tengelyben, 3 mm-re a centrumtól, K_2 : keratometriás érték a legmeredekebb tengelyben, 3 mm-re a centrumtól. 95% CI: az átlag 95% fiducia intervalluma, SD: standard szórás.

	átlag	SD	95% CI	minimum	maximum
elülső, preoperatív K_1 (D)	43,30	1,58	42,96- 43,64	39,26	46,86
elülső, preoperatív K_2 (D)	44,06	1,56	43,72-44,39	40,03	47,23
sebészileg indukált astigmatismus az elülső corneális felszínen (D)	0,49	0,29	0,42-0,56	0,08	1,48
elülső corneális astigmatismus (D)	0,74	0,44	0,64-0,83	0,03	3,30

6. táblázat: Keratometriás adatok és cataractaműtét során sebészileg indukált astigmatismus a cornea elülső felszínén Scheimpflug képalkotással vizsgálva ($n=88$). K_1 : keratometriás érték a leglaposabb tengelyben, 3 mm-re a centrumtól, K_2 : keratometriás érték a legmeredekebb tengelyben, 3 mm-re a centrumtól. 95% CI: az átlag 95% fiducia intervalluma, SD: standard szórás.

5.5.2.3 Megbeszélés

A cornea teljes fénytörési értékét a standard műszerek az elülső felszín keratometriai mérése után a keratometriás indexek segítségével alakítják ki. Ha azonban a cornea hátsó felszín törőerejét figyelembe vesszük, a teljes corneális astigmatismus kisebb direkt astigmia esetén és nagyobb indirekt esetekben. Ha tehát nem vesszük számításba a hátsó felszín ezen adatát pl. toricus műlencse beültetésénél, direkt astigmias páciensek esetén túlkorrigáljuk, indirekt astigmias esetekben pedig alulkorrigáljuk a toricus műlencse cylinderértékét. A corneális astigmatismus életkorral megfigyelhető tengelyelfordulása tovább bonyolítja ezt a kérdéskört, mert a hátsó corneális felszínen életkori változás nem figyelhető meg. Így, teoretikusan, kismértékű direkt irányú astigmatismust kellene hagyni az astigmatismus bármilyen műtéti korrigálásánál, főleg fiatalabb szemeken, hogy kompenzáljuk ezt a korfüggő változást.

Kimutattuk, hogy az indukált astigmatismus mértéke a hátsó corneális felszínen annál nagyobb, minél nagyobb a hátsó corneális felszín preoperatív astigmatismusa, viszont mértéke nem korrelál szignifikánsan a teljes corneán mért indukált astigmia mértékével. 11,36%-ban volt 0,5 D-nál nagyobb a cornea hátsó felszínének astigmiaja és 25%-ban figyeltünk meg 0,5 D-nál nagyobb sebészileg indukált astigmatismust a cornea hátsó felszínén.

Adataink arra engednek következtetni, hogy a cataracta műtét során indukált astigmianak a hátsó corneális felszínen is kifejezett a hatása, ráadásul ez a hatás többnyire nem függ össze a klinikumban hagyományosan mért elülső corneális felszín indukált astigmiajával. Az astigmatismus műtéti kontrolljánál, főleg toricus műlencse implantációja során tehát figyelembe kellene venni ezt a hatást is.

5.6 A cornea magasabb rendű aberrációinak vizsgálata és életkori összefüggéseinek leírása

5.6.1 Módszer

Egészséges önkénteseket vizsgáltuk, akik a rutin szemészeti vizsgálat során jó távoli látásélességgel rendelkeztek (minimum 20/25 Snellen ekvivalens) és semmilyen szemészeti comorbiditás nem volt, kismértékű (1,0 D-nál kisebb) refrakciós hiba és cataracta kivételével. Nem volt köztük kontaktlencse viselő sem. Minden páciens egy-egy szeméről felvételt készítettünk Pentacam HR készülékkel.

5.6.2 Eredmények

227 páciens egy-egy szemét vizsgáltuk (életkor átlaga: 55,15 év; SD: 21,2 év; 95% CI: 52,37-57,9 év; range: 16-90 év). Az átlagos fénytörési hiba 0,52 D volt (SD: 0,23; range: -0,75-0,75 D). A keratometriás adatok és az életkor között nem találtunk szignifikáns korrelációt, azonban mind a hátsó, mind az elülső corneát tekintve az astigmatismus mértéke szignifikánsan csökkent az életkor előrehaladtával ($r=-0,18$; $p<0,01$ és $r=-0,26$; $p<0,01$). A vizsgált szemek összesített alacsonyabb rendű aberrációja az elülső corneális felszínt vizsgálva jelentősen változik az életkorral ($r=0,47$; $p<0,01$), a hátsó felszíné viszont nem ($r=0,03$; $p=0,68$). A corneális összes aberráció RMS-einek vizsgálata során megállapítottuk, hogy a teljes RMS érték az életkorral folyamatosan növekszik ($r=0,51$; $p<0,01$), melyet az elülső corneális felszín teljes RMS és a magasabb rendű aberrációk RMS-ének növekedése okoz ($r=0,38$; $p<0,01$), miközben a hátsó corneális felszín RMS és a hátsó felszín alacsonyabb rendű aberrációinak RMS értéke az életkorral előrehaladva lényegesen nem változik.

($r=0,04$; $p=0,53$). A magasabb rendű aberrációk közül a primer és szekunder szférikus aberráció életkorral történő folyamatos növekedését igazoltuk ($r=0,27$; $p<0,01$), melyet az elülső felszín szférikus aberrációjának növekedése okozott ($r=0,25$; $p<0,01$).

A coma aberrációkat vizsgálva a hátsó felszín vertikális coma aberráció mutatott az életkorral szignifikáns változást ($r=0,29$; $p<0,01$). Az elülső felszín és a teljes cornea vertikális coma értékei viszont nem változtak jelentősen az életkorral. A trefoil aberráció tekintetében a cornea hátsó felszín vertikális trefoil értéke az életkorral haladva növekedett ($r=0,16$; $p=0,02$), míg az elülső felszín és a teljes corneális eredő vertikális trefoil enyhén csökkent ($r=-0,15$; $p=0,04$ és $r=-0,16$; $p=0,02$). A coma- és trefoil aberrációk horizontális komponensei nem változtak az életkor előrehaladtával ($r=0,06$; $p=0,6$). A tetrafoil aberráció és az életkor összefüggése nem volt szignifikáns ($r=0,04$; $p=0,58$).

5.6.3 Megbeszélés

Az emberi szem egyes magasabb rendű aberrációinak képminőséget rontó tulajdonságai jól ismertek. Ezen, teljes szemet érintő optikai leképezési hibák kialakításában a cornea elülső és hátsó felszíne, valamint a szemlencse és a retina is szerepet játszik. A magasabb rendű aberrációkat többféle eszközzel mérhetjük, a corneális aberrációk mérésére pedig a Scheimpflug képalkotás is alkalmas. A teljes szemre vonatkozó magasabb rendű aberrációk az életkorral együtt növekednek, mely változás döntően corneális eredetű. A corneális szférikus aberráció életkori változása ellentmondásos, bár növekedése a valószínű. Ennek oka, hogy a cornea hátsó felszínének szférikus aberrációja negatív fiatal életkorban és pozitívvá válik idősebb korban. Scheimpflug képalkotással végzett vizsgálatunk azt igazolta, hogy a cornea teljes magasabb rendű aberrációja az életkorral jelentősen nő, amit a szférikus aberráció növekedése magyaráz leginkább, bár a coma illetve a trefoil aberráció vertikális komponensei is részt vesznek növekedésében. Ismert, hogy magasabb rendű aberrációk mértéke pupillafüggő is, az életkorral együtt pedig a pupilla egyre szűkebb lesz (senilis miosis), így a corneális aberrációk látásminőséget rontó hatása csökken.

Összefoglalva, a corneális aberrációk közül a primer és szekunder szférikus aberráció és a vertikális trefoil aberráció jelentősen változik az életkorral, melyet Pentacam HR-el igazoltunk. Ezen változások a szem egyéb életkori változásaival együtt egy komplex, presbyopiát részben kompenzáló fiziológias mechanizmus részei lehetnek.

5.7 Corneális biomechanikai paraméterek vizsgálata egészséges, nem operált szemeken és keratorefraktív műtétek után

5.7.1 biomechanikai vizsgálatok egészséges, nem operált szemeken

5.7.1.1 Módszer

A beválogatásnál kizáró ok volt bármilyen elülső szegmentum elváltozás, 2,0 D-t meghaladó szférikus vagy cylinderes refrakciós hiba, bármilyen korábbi szemészeti műtét vagy kontaktlencse viselése. Először a CorVis ST készülékkel mértünk. Minden páciens jobb szemén 3-3 mérést végzett ugyanaz a vizsgáló. Ezen mérések között 1-2 perc telt el, a páciens a várakozási idő alatt a fejét kivette az álltartóról. Másodszor pedig IOLMaster-el rögzítettük a tengelyhossz értékét és a keratometriai adatokat.

5.7.1.2 Eredmények

75 páciens 75, jobb szemén végeztük vizsgálatainkat (életkor átlag: 61,24 év; SD: 15,72 év; 95% CI: 57,62-64,86 év; range: 22,20-87,30 év), a lehetséges diurnális változékonyságot kiiktatva, azonos napszakban. A CorVis ST által mért specifikus paraméterek részletes adatait és a mérések megbízhatóságát jellemző értékeket a 7. és 8. táblázat részletezi.

Az IOLMaster-rel végzett vizsgálatok átlagosan 23,28 mm tengelyhosszat mutattak (SD: 1,26 mm; 95% CI: 22,98-23,57 mm; range: 21,19-27,7 mm). A lapos keratometriai érték átlagosan 43,58 D (SD: 1,58 D; 95% CI: 43,22-43,95 D; range: 39,24-47,20 D), a meredek keratometriás érték átlaga pedig 44,43 D (SD: 1,53 D; 95% CI: 44,08-44,78 D; range: 40,13-48,01 D) volt.

A CorVis ST által mért specifikus biomechanikai paraméterek nem mutattak szignifikáns összefüggést az életkorral és a tengelyhossz értékével (kiegyenlített determináltsági koefficiens, $r^2=0,11$; $p=0,1$; $r^2=0,05$; $p=0,21$, sorban). A lapos és meredek keratometriai értékek viszont szignifikáns összefüggést mutattak a CorVis ST paramétereivel (kiegyenlített determináltsági koefficiens, $r^2=0,2$; $p<0,01$ és $r^2=0,24$; $p<0,01$, sorban). A CorVis ST által mért specifikus biomechanikai adatok és szemnyomás közt erős összefüggés igazolható (kiegyenlített determináltsági koefficiens, $r^2=0,96$; $p<0,001$). Az életkor és a CorVis ST által mért IOP érték közt nem észleltünk szignifikáns korrelációt ($r^2=0,03$; $p=0,71$).

	átlag (SD)	95% CI	mérési tartomány
Szemnyomás [Hgmm]	15,02 (2,90)	14,35-15,68	10,83-26,17
Centrális corneális vastagság [μ m]	556,33 (33,13)	548,71-563,95	480,67-648,67
Def. amp. max. [mm]	1,06 (0,09)	1,04-1,08	0,86-1,25
A1 time [ms]	7,27 (0,31)	7,19-7,34	6,53-8,34
A1 length [mm]	1,75 (0,14)	1,72-1,79	1,32-2,04
A1 velocity [m/s]	0,149 (0,02)	0,14-0,15	0,06-0,19
A2 time [ms]	21,60 (0,49)	21,48-21,71	20,15-24,04
A2 length [mm]	1,91 (0,31)	1,83-1,98	0,77-2,66
A2 velocity [m/s]	-0,34 (0,06)	-0,35- -0,32	-0,49- -0,18
HC time [ms]	16,84 (0,36)	16,76-16,93	15,63-17,86
Peak distance [mm]	3,03 (0,73)	2,86 - 3,20	1,19-5,22
Radius [mm]	7,94 (0,82)	7,75 - 8,14	6,02-11,36

7. táblázat: Egészséges szemeken mért paraméterek CorVis ST készülékkel (n=75).

Def. amp. max.: a corneacsúcs maximális kitérése (legnagyobb homorulat), A1 time: az első applanációig eltelt idő, A1 length: az első applanációnál lelapított corneaterület hossza, A1 velocity: az első applanáció során mért corneális sebesség, A2 time: a második applanációig eltelt idő, A2 length: a második applanációnál lelapított corneaterület hossza, A2 velocity: a második applanáció során mért corneális sebesség, HC Time: a legnagyobb homorulat elérésig eltelt idő, Peak distance: a két corneacsúcs egymástól mért távolsága a legnagyobb homorulat idején, Radius: a cornea felszínére illeszthető kör görbületi sugara a legnagyobb kitérés pillanatában. SD: standard szórás, 95% CI: az átlag 95%-os fiducia intervalluma.

	ICC	Az ICC 95% CI értéke	Cronbach alfa	CV
Szemnyomás [Hgmm]	0,865	0,811-0,907	0,951	0,007
Centrális corneális vastagság [μ m]	0,970	0,956-0,979	0,990	0,008
Def. amp. max. [mm]	0,758	0,670-0,829	0,904	0,046
A1 time [ms]	0,784	0,704-0,848	0,916	0,018
A1 length [mm]	0,062	0,170-0,072	0,287	0,131
A1 velocity [m/s]	0,354	0,212-0,496	0,622	0,147
A2 time [ms]	0,305	0,161-0,453	0,568	0,013
A2 length [mm]	0,240	0,099-0,390	0,486	0,195
A2 velocity [m/s]	0,547	0,416-0,665	0,783	-0,117
HC time [ms]	0,261	0,119-0,409	0,514	0,019
Peak distance [mm]	0,216	0,077-0,366	0,453	0,241
Radius [mm]	0,560	0,433-0,674	0,792	0,072

8. táblázat: Ismételhetőségi adatok CorVis ST-készülékkel egészséges szemeken (n=75). A specifikus CorVis ST paraméterek részletes leírása a 7. táblázat alatt. ICC: intraclass korrelációs koefficiens, 95% CI: az ICC érték 95%-os confidencia intervalluma, CV: variációs koefficiens.

5.7.2 biomechanikai paraméterek vizsgálata keratorefraktív műtétek után

5.7.2.1 Módszer

Összesen 39 pácienszt vontunk be vizsgálatainkba, két különböző típusú keratorefraktív műtét (laser-asszisztált in situ keratomileusis, LASIK illetve photorefractiv keratectomia, PRK) tervezése során. A fénytörési hibán kívül ezen szemeken semmilyen egyéb elülső illetve hátsó szegmentumot érintő eltérést nem észleltünk a részletes szemészeti vizsgálat során. A beavatkozás előtt, majd egy nappal, egy héttel és egy hónappal azután, közel azonos napszakban, azonos, tapasztalt vizsgáló készítette a felvételeket a CorVis ST készülékkel.

5.7.2.2 Eredmények

Vizsgálatainkat 39 keratorefraktív műtétes páciens 78 szemén végeztük (életkor átlag: 32,6 év; SD: 9,9 év). A CorVis ST-vel nyert adatainkat részleteiben a 9-12. táblázat mutatja. A preoperatív adatokat tekintve csak a CorVis ST radius értékben észleltünk szignifikáns különbséget a két vizsgálati csoport (LASIK és PRK) között ($p=0,02$).

LASIK műtét történt 26 páciens 52 szemén (életkor átlag: 33,48 év; SD: 10,04 év). A manifest refrakciós szférikus ekvivalens átlaga -4,7 D (SD: 4,8 D; range: -12,0 D myopia és +3,0 D hypermetropia között) volt. A műtét másnapján csak a radius érték mutatott szignifikáns különbséget a preoperatív adatokhoz képest a specifikus biomechanikai adatok közül. Egy hónappal a műtét után a radius érték és a második applanáció sebesség értéke változott a preoperatív adatsorhoz képest (9. táblázat), valamint a cornea vastagsága is csökkent.

PRK műtétet 13 páciens 26 szemén végeztünk (életkor átlag: 30,52 év; SD: 9,31 év). A manifest refrakciós szférikus ekvivalens átlaga -1,02 D (SD: 3,89 D; -8,5 D myopia és +6,0 D hypermetropia között) volt. A beavatkozás másnapján szignifikáns különbséget igazoltunk a

következő biomechanikai paramétereket tekintve: a corneális apex maximum kitérése, az ehhez szükséges idő értéke, az első applanáció ideje és a második applanáció sebessége. Egy hónap múlva nem volt különbség a preoperatív adatokhoz képest egyetlen specifikus biomechanikai jellemzőt tekintve sem (10. táblázat).

Az összes CorVis ST-vel nyert paraméter műtéti változásainak mértéke és a műtéti korrekció dioptria értéke között a következő korrelációk voltak szignifikáns mértékűek. LASIK esetén a szemnyomásérték, a cornea vastagsága, az első applanáció ideje és sebessége, a második applanáció hossza, valamint a radius érték. PRK esetén pedig a corneavastagság és a radiusérték változása mutatott szignifikáns korrelációt a korrekció mértékével (11. táblázat). A biomechanikai paraméterek változása és a cornea vékonyodás mértéke közötti szignifikáns korrelációk pedig a következők voltak. LASIK esetén a maximális deformációs amplitudó, az első applanáció ideje, a második applanáció hossza és sebessége, valamint a radius érték. PRK esetén a második applanáció hosszának és a radius érték változásának mértéke korrelált szignifikánsan a cornea vastagság csökkenésének mértékével (12. táblázat).

	preoperatív	1. nap	p	1. hét	p	1. hónap	p
	v						
Szemnyomás [Hgmm]	15,29 (2,95; 14,47-16,12)	13,95 (4,69; 12,64-15,26)	0,08	15,68 (6,37; 13,91-17,45)	0,7	14,19 (4,15; 13,08-15,31)	0,11
Centrális corneális vastagság [μm]	547,18 (44,9; 534,51-559,77)	526,17 (61,52; 509,04-543,30)	0,05	526,69 (62,17; 509,38-544,00)	0,06	524,00 (63,21; 506,74-541,25)	0,03*
Def. amp. max [mm]	1,06 (0,11; 1,03-1,09)	1,08 (0,12; 1,05-1,12)	0,27	1,02 (0,17; 0,98-1,07)	0,21	1,08 (0,14; 1,04-1,12)	0,36
A1 time [ms]	7,32 (0,33; 7,23-7,42)	7,18 (0,50; 7,04-7,32)	0,08	7,37 (0,69; 7,17-7,56)	0,69	7,22 (0,44; 7,10-7,34)	0,19
A1 length [mm]	1,73 (0,31; 1,65-1,82)	1,74 (0,27; 1,67-1,82)	0,88	1,77 (0,31; 1,68-1,86)	0,53	1,78 (0,31; 1,70-1,86)	0,41
A1 velocity [m/s]	0,15 (0,03; 0,19-0,16)	0,14 (0,03; 0,13-0,15)	0,38	0,14 (0,04; 0,13-0,15)	0,48	0,15 (0,04; 0,13-0,16)	0,81
A2 time [ms]	21,52 (0,81; 21,29-21,74)	21,63 (0,66; 21,45-21,82)	0,42	21,54 (0,58; 21,38-21,71)	0,84	21,71 (0,48; 21,58-21,84)	0,13
A2 length [mm]	1,77 (0,47; 1,64-1,91)	1,70 (0,45; 1,57-1,83)	0,41	1,70 (0,51; 1,56-1,84)	0,45	1,82 (0,55; 1,67-1,96)	0,66
A2 velocity [m/s]	-0,38 (0,07; -0,40- -0,36)	-0,42 (0,15; -0,46- -0,38)	0,12	-0,39 (0,11; -0,42- -0,36)	0,66	-0,43 (0,12; -0,46- -0,39)	0,03*
HC time [ms]	16,55 (0,46; 16,42-16,68)	16,66 (0,52; 16,51-16,80)	0,27	16,62 (0,34; 16,53-16,71)	0,37	16,61 (0,35; 16,51-16,70)	0,45
Peak distance [mm]	3,39 (1,22; 3,05-3,73)	3,57 (1,34; 3,19-3,94)	0,49	3,58 (1,25; 3,24-3,93)	0,43	3,77 (1,25; 3,44-4,11)	0,11
Radius [mm]	7,69 (1,16; 7,37-8,02)	7,10 (1,37; 6,72-7,48)	0,01*	7,20 (1,30; 6,84-7,56)	0,04*	7,11 (1,05; 6,83-7,39)	<0,01*

9. táblázat: A CorVis ST készülékkel nyert adataink LASIK műtét után. A specifikus CorVis ST paraméterek részletes leírása a 7. táblázat alatt. Az adatok leírása: átlag; (SD; 95% CI érték), *: szignifikáns p érték a preoperatív adathoz képest.

	preoperatív	1. nap	p	1. hét	p	1. hónap	p
Szemnyomás [Hgmm]	15,26 (4,63; 13,35-17,17)	12,13 (3,22; 10,71-13,56)	0,01*	13,50 (4,82; 11,17-15,82)	0,22	14,16 (5,15; 12,03-16,29)	0,43
Centrális corneális vastagság [μm]	538,92 (41,82; 521,65-556,18)	515,85 (50,65; 492,14-539,55)	0,10	495,22 (44,31; 473,18-517,26)	<0,01*	486,58 (39,15; 470,05-503,11)	<0,01*
Def. amp. max [mm]	1,08 (0,11; 1,03-1,12)	1,15 (0,13; 1,09-1,21)	0,03*	1,09 (0,10; 1,04-1,14)	0,73	1,06 (0,11; 1,01-1,11)	0,61
A1 time [ms]	7,32 (0,47; 7,12-7,51)	6,99 (0,29; 6,86- 7,12)	<0,01*	7,13 (0,50; 6,89-7,37)	0,20	7,19 (0,54; 6,96-7,42)	0,38
A1 length [mm]	1,74 (0,29; 1,62-1,86)	1,77 (0,30; 1,64-1,91)	0,71	1,65 (0,25; 1,52-1,77)	0,25	1,78 (0,33; 1,64-1,92)	0,66
A1 velocity [m/s]	0,15 (0,04; 0,14-0,17)	0,16 (0,04; 0,14-0,18)	0,46	0,13 (0,03; 0,12-0,15)	0,10	0,14 (0,04; 0,13-0,16)	0,48
A2 time [ms]	21,55 (0,58; 21,31-21,80)	21,65 (0,88; 21,25-22,06)	0,65	21,42 (1,08; 20,90-21,95)	0,62	21,54 (0,56; 21,31-21,77)	0,94
A2 length [mm]	1,78 (0,46; 1,59-1,98)	1,61 (0,58; 1,35-1,87)	0,27	1,62 (0,56; 1,35-1,89)	0,29	1,63 (0,42; 1,45-1,80)	0,22
A2 velocity [m/s]	-0,39 (0,09; -0,43- -0,35)	-0,47 (0,13; -0,53- -0,41)	0,02*	-0,39 (0,09; -0,43- -0,35)	0,91	-0,42 (0,12; -0,47- -0,37)	0,30
HC time [ms]	16,73 (0,39; 16,57-16,89)	16,30 (0,63; 16,02-16,58)	<0,01*	16,52 (0,48; 16,29-16,75)	0,12	16,65 (0,42; 16,47-16,82)	0,47
Peak distance [mm]	3,77 (1,18; 3,28-4,26)	4,11 (2,6; 3,55-4,67)	0,34	4,01 (1,21; 3,43-4,59)	0,51	3,47 (1,21; 2,97-3,98)	0,39
Radius [mm]	7,00 (1,31; 6,46-7,54)	6,41 (1,30; 5,83-6,99)	0,12	6,60 (0,84; 6,20-7,01)	0,25	6,67 (0,83; 6,33-7,02)	0,29

10. táblázat: A CorVis ST készülékkel nyert adataink PRK műtét után. Az egyes paraméterek magyarázata a 7. táblázat alatt. Az adatok leírása: átlag (SD; 95% CI érték), *: szignifikáns p érték a preoperatív adathoz képest.

	LASIK		PRK	
	r	p	r	p
Szemnyomás [Hgmm]	0,48	<0,001*	0,14	0,49
Centrális corneális vastagság [μm]	0,71	<0,001*	0,62	<0,001*
Def. amp. max [mm]	0,06	0,65	0,14	0,48
A1 time [ms]	0,46	<0,001*	0,09	0,66
A1 length [mm]	0,14	0,31	0,01	0,97
A1 velocity [m/s]	0,33	0,01*	0,22	0,28
A2 time [ms]	0,06	0,67	0,04	0,85
A2 length [mm]	0,36	<0,01*	0,32	0,12
A2 velocity [m/s]	0,18	0,17	-0,04	0,84
HC time [ms]	0,19	0,14	0,08	0,69
Peak distance [mm]	0,13	0,31	-0,13	0,51
Radius [mm]	0,53	<0,001*	0,43	0,03*

11. táblázat: A LASIK illetve PRK műtétek során korrigált dioptriaérték és a CorVis ST készülékkel mért biomechanikai jellemzők megváltozása közötti korrelációk. Az egyes paraméterek magyarázata a 7. táblázat alatt. r: a Spearman teszt korrelációs értéke, p: a szignifikancia teszt eredménye.

	LASIK		PRK	
	r	p	r	p
Szemnyomás [Hgmm]	0,55	<0,001*	0,26	0,21
Def. amp. max [mm]	-0,32	0,02*	-0,07	0,75
A1 time [ms]	0,44	<0,001*	0,26	0,20
A1 length [mm]	-0,06	0,65	-0,12	0,58
A1 velocity [m/s]	0,08	0,57	0,06	0,76
A2 time [ms]	-0,08	0,56	0,07	0,73
A2 length [mm]	0,33	0,02*	0,44	0,02*
A2 velocity [m/s]	0,40	0,004*	-0,05	0,82
HC time [ms]	-0,06	0,69	0,16	0,45
Peak distance [mm]	0,02	0,85	0,01	0,94
Radius [mm]	0,53	<0,001*	0,77	<0,001*

12. táblázat: A CorVis ST készülékkel mért biomechanikai adatok változása és a cornea vastagság csökkenése közti korrelációk LASIK és PRK műtétek után. Az egyes paraméterek magyarázata a 7. táblázat alatt. r: a Spearman teszt korrelációs értéke, p: a szignifikancia teszt eredménye.

5.7.3 Megbeszélés

Egy szövet biomechanikai tulajdonsága az azt alkotó rostok, sejtek és sejt közötti állomány egymással való viszonyától és a szövet felépítésétől függ. A biomechanikai vizsgálat arra ad választ, hogy az adott szövet hogyan válaszol egy külső deformációs hatásra illetve külső stresszre. A szaruhártya biomechanikai értelmezése a corneát viszkózus és elasztikus tulajdonságokkal is rendelkező anyagként kezeli. A biomechanikai tulajdonságok függhetnek az életkortól: kisebb deformációs választ várunk idősebb korban a csökkent elaszticitás miatt és gyorsabb alakvisszatérést fiatalabb korban. A biomechanikai jellemzők a cornea hidráltságától, vastagságától és a szemnyomástól is függenek.

A corneális biomechanika vizsgálata *ex vivo* kísérletes modellezéssel, stressz-strain tesztel és dinamikus rheometriával lehetséges. 2012-ben leírták egy új képalkotó technológia, a Brillouin optikai mikroszkópia jó használhatóságát is, mely a cornea elasztikus modulusát képes térképszerűen, három dimenzióban megjeleníteni a cornea érdemi deformálása nélkül. Ez azért fontos a kutatásokban, mert a későbbiekben leírásra kerülő ORA és a CorVis ST is nem-fiziológias deformációs erő hatása közben vizsgálják a corneát; ráadásul mindkét műszer a szaruhártya centrális területét vizsgálja; a cornea periferiát, ahol például a keratectasiák jellemző eltérései megjelennek, nem.

A cornea in vivo biomechanikai tulajdonságait 2005-től csak egyetlen műszer tudta vizsgálni, az Ocular Response Analyzer. Az ORA egy precíz, szabályozott levegőimpulzust bocsát ki a cornea felszínére és a pneumatikus stresszre adott válaszreakciót elemzi egy elektro-optikai rendszer segítségével. A levegőimpulzus hatására némi késéssel a cornea elkezd benyomódni, görbülete konkáv válik, majd a levegőimpulzus megszűntével a cornea rugalmasságánál fogva visszanyeri eredeti alakját. Ezen deformálódás paramétereiből lehet következtetni a cornea biomechanikájára, amit két fő adattal jellemez ez a készülék. A 20 ms-os vizsgálati idő alatt két applanációs nyomásértéket mér és a két érték közötti különbséget corneális hysteresisnek (CH) nevezi el. A műszer ezen kívül meghatároz egy számított értéket, a corneális rezisztencia faktort is (CRF). Ezen biomechanikai vizsgálatok felhasználási területei a keratectasiák diagnózisa mellett a keratorefraktív műtétek, a corneális cross-linking (CXL) hatásának vizsgálata, a glaucoma diagnosztika, de elvileg a myopiás progresszió, vagyis az ocularis expansio vizsgálata is lehetséges lenne.

2011 őszén egy másik, szintén a corneális biomechanikát in vivo vizsgáló készüléket mutattak be. A CorVis ST a pachymetriai érték és szemnyomás mérése mellett számos új, specifikus paramétert mér. Egy ilyen új eszköz bevezetésénél és későbbi használatánál fontos a műszer mérési ismételhetőségének kérdése, és egy normál szemeken mért adatbázis létrehozása is. Célunk az volt, hogy a CorVis ST-vel mért paramétereket tekintve egészséges szemeken meghatározzunk egy normál adattartományt és leírjuk a műszer által mért specifikus paraméterek mérési ismételhetőségét.

Saját adataink a CorVis ST készülékkel a pachymetriai és szemnyomásértékre kiváló mérési ismételhetőséget mutatnak. A legnagyobb homorulat értéke és az első applanációs idő is igen jó ismételhetőséggel rendelkezik. A többi paraméter mérési ismételhetősége az általunk használt software mellett gyenge, bár a második applanáció idejének, a legnagyobb homorulat idejének és a legnagyobb homorulatra illeszthető kör görbületi sugarának variációs koefficiense elég alacsony volt. Ezért javasoltuk ezen adatok értékelése esetén, hogy legalább három ismételt mérés átlagával szükséges számolni. A vártnál gyengébb ismételhetőségi adatok magyarázata a technológia korlátai mellett a legnagyobb homorulat idején megfigyelhető oszcilláló corneális mozgás, a szem microsaccadikus mozgásai miatti változékonyság és az orbita szövetének mechanikai stresszre adott nem várt és nem jól ismert, változó tulajdonságai lehetnek. A jelenlegi software használatával tehát az a valószínűsíthető, hogy ez a műszer jellemzően az ocularis biomechanikát vizsgálja.

Korábban arra is következtettek, hogy a PRK kevésbé változtatja meg a corneális biomechanikát, mint a LASIK, mely megfigyelést mi is megerősítettük egy másik műszerrel. A keratorefraktív műtéttel együtt járó kóros mértékű biomechanikai változás lehet az egyik fő oka a posztrefraktív keratectasiának is. A keratorefraktív műtétek során megváltozó biomechanika mértéke függhet a műtéti korrekció mennyiségétől, mint ahogyan ezt saját vizsgálatunkban a CorVis ST-vel is igazoltuk, bár inkább a LASIK esetén.

A legtöbb, keratoplasztika utáni változást vizsgáló tanulmány a corneális biomechanika gyengülését írja le ORA segítségével. Közlésre elfogadott vizsgálataink csak a CorVis ST által mért két specifikus paraméterben (legnagyobb kitéréshez szükséges idő és a radius érték) igazoltak jelentős csökkenést a keratoplasztika utáni szemeken. A többi 8 paramétert tekintve, vagy nem volt különbség a posztkeratoplasztikás és az egészséges szemek között, vagy nem elég érzékeny hozzá a műszer, hogy kimutassa a különbséget.

Összefoglalva, a CorVis ST készülék mérési ismételhetősége csak a szemnyomást és a pachymetriai adatot tekintve kiváló az általunk használt software mellett. A legnagyobb homorulat értéke és az első applanációs idő még igen jó mérési ismételhetőséggel rendelkezik, a többi paraméter mérési ismételhetősége viszont nem jó. Ezzel az új eszközzel vizsgálva a corneális biomechanikát, úgy tűnik, a PRK ilyen szempontból kevésbé invazív beavatkozás, mint a LASIK.

5.8 Az elülső csarnok mélységének mérése phakiás és pseudophakiás szemeken

5.8.1 Módszer

4 különböző vizsgálatssorozatban mértük különböző optikai módszerekkel illetve ultrahangos technikával a szemek elülső csarnok mélységét. Phakiás, egészséges szemeken elülső szegmentum OCT-vel és szemészeti immerziós ultrahanggal; Pentacam HR-el és IOLMasterrel szintén phakiás szemeken; IOLMasterrel, elülső szegmentum OCT-vel és Pentacam HR-el, phakiás szemeken és végül Pentacammal és kontakt ultrahangos eszközzel phakiás és pseudophakiás szemeken.

5.8.2 Eredmények

a. *Elülső szegmentum OCT-vel és szemészeti immerziós ultrahanggal*

41 phakiás páciens 60 szemét vizsgáltuk (átlagos életkor: 59,95 év; SD: 16,39 év), két vizsgáló által. Az elülső szegmentum OCT és a szemészeti immerziós ultrahang különböző elülső csarnok mélységet mér mindkét vizsgáló esetén (1. vizsgáló: OCT-vel átlagosan 3,12 mm, SD: 0,33 mm; ultrahanggal átlagosan 2,98 mm, SD: 0,33 mm; 2. vizsgáló: OCT-vel átlagosan 3,11 mm, SD: 0,33 mm; ultrahanggal mérve átlagosan 2,95 mm, SD: 0,34 mm; $p < 0,02$). A korreláció a két eszköz által mért adatok között $r = 0,732$ ($p < 0,001$). A két vizsgáló által mért OCT-s és ultrahangos eredmények szignifikánsan nem különböztek egymástól ($p = 0,78$ és $p = 0,68$). A vizsgált páciensek életkora és az elülső csarnok mélység közt negatív korrelációt igazoltunk (AS-OCT esetén: $r = -0,411$, $p < 0,001$; UH esetén: $r = -0,37$, $p < 0,01$). A mérés ismételhetőségében nem volt szignifikáns különbség a két eszközzel mért elülső csarnok értékek között ($p = 0,54$).

b. *Pentacam HR-el és IOLMasterrel*

44 páciens 83, phakiás, emmetropiás szemét vizsgáltuk (életkor átlag: 65,58 év; SD: 9,36 év; 95% CI: 63,51-67,65 év; range: 47-83 év). A Pentacam HR-el mért csarnokmélység átlagosan 3,01 mm (SD: 0,34 mm; 95% CI: 2,93-3,08 mm; range: 2,26-3,8 mm) volt; az IOLMaster pedig átlagosan 2,95 mm-es (SD: 0,32 mm; 95% CI: 2,88-3,02 mm; range: 2,33-3,61 mm) csarnokmélységet mért. A különbség a két műszer által mért adatok közt nem volt szignifikáns ($p = 0,29$), a korreláció pedig szignifikáns volt ($r = 0,85$; $p < 0,001$).

A vizsgált szemek tengelyhossza átlagosan 23,06 mm (SD: 0,94 mm; 95% CI: 22,85-23,27 mm; range: 21,27-25,46 mm) volt, IOLMaster-rel mérve. Az átlagos csarnoktér fogat Pentacam HR-el mérve 95,1 mm³ volt (SD: 22,7 mm³; 95% CI: 90,12-100,16 mm³; range: 49,5-152,9 mm³), mely magas korrelációs értéket mutatott a centrális csarnokmélységgel ($r = 0,82$; $p < 0,001$). A két eszköz által mért csarnokmélységek különbsége -0,051 mm, a 95% LoA értéke pedig -0,4-0,3 mm volt.

c. *3 optikai eszközzel mért csarnokmélység adatok*

45 páciens 45 szemén végzett vizsgálat (életkor átlag: 62,73 év; SD: 15,31 év) során a szemek tengelyhossza átlagosan 23,35 mm (SD: 1,49 mm) volt. A centrális csarnokmélység átlagosan 3,00 mm (SD: 0,42 mm) volt IOLMaster-rel, átlagosan 3,26 mm (SD: 0,95 mm) Visante OCT-vel és átlagosan 3,06 mm (SD: 0,41 mm) volt Pentacam HR-el mérve. A három készülék által mért ACD adatok statisztikailag nem különböztek egymástól (ANOVA $p = 0,19$).

Ezen a populáción szignifikáns korrelációt figyeltünk meg a Pentacam HR és az IOLMaster adatai között ($r = 0,95$; $p < 0,001$), de a Pentacam HR és a Visante OCT adatok nem korreláltak jól ($r = 0,23$; $p = 0,12$). Az IOLMaster által mért tengelyhossz értékek és a csarnokmélység között szignifikáns összefüggés volt ($r = 0,67$; $p < 0,001$).

d. Az elülső csarnok mélységének mérése Pentacammal és kontakt ultrahangos eszközzel phakiás és pseudophakiás szemeken

Phakiás csoport

42 páciens 42, phakiás szemén (életkor átlag 65,12 év; SD: 14,27 év) az elülső csarnok mélység átlaga 2,87 mm (SD: 0,4 mm) volt Pentacam-mal és átlagosan 2,89 mm (SD: 0,49 mm) ultrahanggal mérve. A különbség nem volt szignifikáns ($p=0,84$), az adatok pedig jól korreláltak egymással ($r=0,547$; $p<0,001$).

Pseudophakiás csoport

42 páciens 42, pseudophakiás szemén (életkor átlag 70,62 év, SD: 10,97 év) az elülső csarnok mélység átlaga 3,41 mm (SD: 0,28 mm) volt Pentacam-al és átlagosan 3,97 mm (SD: 0,45 mm) kontakt ultrahangos eszközzel mérve. A különbség szignifikáns volt ($p<0,001$), az adatok pedig jól korreláltak egymással ($r=0,404$; $p=0,01$).

5.8.3 Megbeszélés

A szem elülső csarnok mélységének pontos mérése a szemészeti műtéti technika fejlődésével együtt igen fontossá vált. A cataractaműtét során beültetendő műlencse kalkulációjához, a negyedik generációs biometria képletekhez, a posztoperatív effektív lencsepozíció pontosabb becsléséhez szükséges a preoperatív elülső csarnok mélység ismerete is, a corneális görbületi sugarak és a tengelyhossz adatok mellett. A phakiás intraocularis műlencsék tervezéséhez és kiválasztásához, valamint a glaucoma diagnosztikájában is lényeges az elülső csarnok anatómiájának ismerete. Az elülső csarnok vizsgálatára számos műszer létezik. A non-kontakt eszközökkel kiküszöbölhetjük az ultrahangos, kontakt módszer elülső csarnokot torzító hatását és az off-axis mérés lehetőségét, valamint kényelmesebbé, reprodukálhatóbbá és gyorsabbá tehetjük a mérést.

Igazoltuk, hogy phakiás szemeken a Pentacam és az ultrahangos eszköz azonos csarnokmélység adatokat mér, pseudophakiás szemeken viszont nem cserélhetők fel egymással ezen eszközök mérési eredményei. A mérési különbség hátterében a beültetett műlencse magas refraktív indexét, valamint a műlencse felszínének a saját lencsétől lényegesen különböző reflektáló tulajdonságát tételezzük fel. A phakiás szemeken két különböző elven működő optikai eszköz által mért eredmények igen jól korrelálnak egymással és az ultrahangos mérés eredményeivel is. A Visante OCT vizsgálatól függetlenül, jó ismételhetőséggel méri a csarnok mélységét, amely azonban különbözik az immerziós technikájú ultrahangos mérés eredményeitől. Ezen műszerek közti mérési különbségek és az életkorral együtt folyamatosan változó elülső csarnok mélység fokozott óvatosságra intenek a csarnokmélység adatok értékelésénél és felhasználásánál.

5.9 A szürkehályogműtét során tervezett posztoperatív refrakciós cél pontosságának elemzése különböző biometriai technikákkal

5.9.1 Módszer

Az első csoportban immerziós ultrahangos módszerrel (UltraScan, Alcon) végeztük a méréseket. Felszíni érzéstelenítés után egy, a készülékhez biztosított zárt immerziós kamrát illesztettünk a szemre, majd steril sóoldatot töltöttünk bele. A szem jelentősebb nyomása nélkül végeztük a tengelyhosszmérést. Az ultrahangos fej vége a szemfelszíntől mindig azonos távolságra volt, mivel a kamra a meghatározott cornea-ultrahangfejavég távolságnál kissé beszűkül. Szemenként 10-10 tengelyhossz mérés átlagát használtuk fel a további számításokhoz. A keratometriát ezen esetekben automata kerato-refraktométerrel végeztük (Topcon KR-8100), szemenként 3-3 mérés átlagával számolva. A másik betegcsoportnál IOLMaster-rel mértük a keratometriás értékeket és a tengelyhosszt. A szürkehályogműtét során az SRK/T formulával kalkulált műlencsét ültettük be; feljegyeztük a biometriai adatokat, a tervezett posztoperatív refrakciót és a műlencse típusát.

A műtétek után legalább 6 posztoperatív hét múlva szubjektív refrakciós teszttel megállapítottuk a korrekció nélküli látásélességet, majd meghatároztuk a legjobb korrekcióhoz szükséges sphericus és cylinderes értékeket.

Optimalizálást végeztünk mindkét mérési csoportban az egyik fajta implantált műlencse esetén (AMO AR40e). Ilyen típusú műlencse beültetése az immerziós csoportban 89, az IOLMaster csoportban 91 esetben történt. Mindkét mérési csoport esetén optimalizálás előtt és után is kiszámítottuk az átlagos, abszolút hibát, ami a tervezett posztoperatív refraktív céltól való eltérések abszolút értékének az átlagát jelentette.

5.9.2 Eredmények

Az immerziós betegcsoportban ($n=159$) az életkor átlaga 70,6 év (SD: 12,3 év) volt, a tengelyhossz átlagosan 23,1 mm (SD: 1,0 mm), az IOLMaster csoportban ($n=205$) az életkor átlaga 70,5 év (SD: 11,0 év) volt, a tengelyhossz pedig átlagosan 23,7 mm (SD: 2,1 mm). A posztoperatív refrakciós céltól való eltérés nagysága az immerziós csoportban, optimalizálás nélkül, SRK/T formula esetén átlagosan 0,54 D (SD: 0,59 D; 95% CI: 0,45-0,63 D), az IOLMaster csoportban pedig 0,47 D (SD: 0,48 D; 95% CI: 0,4-0,53 D) volt ($p=0,35$). Optimalizálás után ez az érték jelentősen nem változott (0,56 D; SD: 0,58 D és 0,6 D; SD: 0,58 D) ($p=0,58$). A két mérési módszerrel kapott abszolút hiba eredmények között csak a Haigis képletnél találtunk szignifikáns különbséget optimalizálás előtti és utáni értékeket tekintve ($p<0,01$) mindkét csoportban.

Matematikai optimalizálás nélkül a betegek 60-65% volt 0,5 D-ás hibahatáron belül immerziós módszer esetén (kivételek a Haigis képlet alkalmazásánál). Optikai módszer esetén az SRK/II képlet kivételével ezen értékek kissé magasabbak (62-72%), a Haigis képlet itt sem teljesít jól (45%). A Holladay, Hoffer-Q és a Haigis formulák esetén jelentősen javultak optimalizálás után a refrakciós eredményeink mindkét mérési módszernél: immerziós módszer esetén 65% felé, optikai módszer esetén 80%-ra növekedett a 0,5 D-ás hibahatáron belüli betegek százalékos aránya. A nagy refraktív hibák ($>2,0$ D) előfordulása minden betegcsoportunkban kisebb, mint 3,0% volt a konstansok optimalizálása nélkül és kevesebb, mint 2,0% az optimalizálás után.

5.9.3 Megbeszélés

A szürkehályogműtét során beültetendő műlencse pontos dioptriájának preoperatív kiszámítása alapvető a kívánt posztoperatív cél elérése érdekében. A tengelyhossz mérésben ejtett 0,1 mm-es hiba 0,25-0,75 D-ás refrakciós hibát okoz önmagában. Ez a refrakciós hiba összefügg a használt biometriai képlettel is, ezért különböző tengelyhossz-tartományokhoz különböző biometriai képletek alkalmazását javasolják. A negyedik generációs képletek a preoperatív elülső csarnok mélységét is figyelembe veszik. A tengelyhosszat ultrahangos kontakt vagy immerziós technikával illetve optikai módszerrel mérhetjük. Az immerziós biometria pontosabb, mint a kontakt módszer, az optikai módon végzett tengelyhosszmérés pedig pontosabb, mint az ultrahangos. A nyitott immerziós kamrához képest az általunk használt zárt kamra biztosítja az optikai tengelyben történő mérést és biztosan megtartja a kellő távolságot az ultrahangos kézfő hegye és a cornea felszíne között.

Az átlagos refrakciós hiba 0,5-0,7 D között volt immerziós és optikai módszernél is saját beteganyagunkon. Azonban ez az átlagérték nem elég informatív, sokkal jobban jellemzi a biometria pontosságát az, hogy a betegek hány százaléka esik 0,5 illetve 1,0 D-ás refraktív hibahatáron belülre. Saját beteganyagunkon optimalizáció nélkül a betegek 60-65% volt 0,5 D-ás hibahatáron belül immerziós módszer esetén (kivéve a Haigis képletnél), optikai módszernél ezen értékek minimálisan magasabbak (62-72%), bár a Haigis képlet itt sem teljesít jól. Ezen adatok megfelelnek az irodalomban található hasonló adatoknak.

Manapság az SRK/T formula a leggyakrabban használt biometriai formula. A képletek konstansainak matematikai optimalizálásával az a cél, hogy a tervezett posztoperatív refrakciós értéktől minél jobban megközelítsük. Optimalizálás után refrakciós eredményeink igen jók voltak: a Holladay, Hoffer-Q és a Haigis formulák esetén is jelentősen javultak adataink mindkét mérési módszernél: immerziós módszer esetén 65%-ra, optikai módszernél 80%-ra növekedett a 0,5 D-ás hibahatáron belülre eső betegek százalékos aránya.

Összefoglalva, az optikai biometria csak minimálisan javít a refraktív eredményeken a zárt immerziós kamrával végzett ultrahangos méréshez képest abban az esetben, ha a biometriai konstansokat nem optimalizáljuk. A konstansok optimalizálása az újabb formulák esetén jelentősen javít a refraktív eredményeken, mind immerziós ultrahangos, mind optikai biometria esetén.

5.10 Az effektív műlencsehelyzet becslési hibája és a szubjektív látásélesség közti kapcsolat vizsgálata

5.10.1 Módszer

E vizsgálatunkban minden páciens esetén phacoemulsificációs szürkehályogműtétet végeztünk. A műtét során azonos típusú, összehajtható műlencsét implantáltunk; beválogatási kritérium volt, hogy a posztoperatív, korrigált látásélesség 0,1 vagy ennél jobb legyen, logaritmikus skálán vizsgálva.

A műtétek előtt, IOLMasterrel mértük a szemek tengelyhosszát és a keratometriás értékeket. Ezután három felvételt készítettünk a Pentacam HR-el, non-accomodativ beállítási helyzet mellett. Az automatikusan mért anatómiai, a Pentacam által „külső csarnokmélységnek” („external anterior chamber depth”, a cornea epitheliuma és a lencse elülső felszíne közti távolság) nevezett értékeket jegyeztük fel, és három érték átlagával számoltunk tovább.

A legmeredekebb corneális tengelyben ejtett, 2,85 mm-es clear corneális seben át végzett phacoemulsificációs műtétek során minden esetben azonos típusú intraocularis műlencsét ültettünk be (Sensar OptiEdge AR40e, Abbott Medical Optics Inc). A műlencse dioptriaértékét az SRK/T formulával kalkuláltuk; a refrakciós cél értéke nulla, vagy minimális (maximum 0,25 D) negatív érték volt.

Minimum nyolc héttel a műtétek után újra három felvételt készítettünk a Pentacammal minden operált szemről. A posztoperatív fénytörési hiba megállapítását ugyanaz az orvos végezte minden páciensünk esetében, egy szubjektív, decimális visustáblát használva. A korrekció nélküli visus megállapítása után feljegyeztük a páciens által elfogadott legjobb szférikus és cylinderes értékeket. A biometria során tervezett posztoperatív refrakciós dioptriaértéktől való szubjektív értékelt dioptria eltérést „refrakciós hiba”-ként definiáltuk.

Kiszámítottuk a posztoperatív és preoperatív mért csarnokmélységek különbségeit. Ezután a csarnokmélység formula által számolt (vagyis becsült) adatát kalkuláltuk ki, a SRK/T formula egyenletéből (a képletben ACDeSt rövidítésként szereplő adat), amit „formula által becsült csarnokmélységnek” neveztünk el. Ezt az értéket az A-konstans, a cornea görbületi sugara és a tengelyhossz határozza meg és a műlencse axiális helyzetét jellemzi. Ezek után a posztoperatív, Pentacammal mért csarnokmélység adatot kivontuk a „formula által becsült csarnokmélység” adatból és ezt az értéket elneveztük „csarnokmélység becslési hibának”. Végül kiszámítottuk ezen adatok és a tengelyhossz, a preoperatív mért csarnokmélység és a szubjektív fénytörési hiba közti korrelációkat.

5.10.2 Eredmények

102 páciens 102 szemét vizsgáltuk (életkor mediánja: 73,9 év; a medián 95% CI értéke: 71,92-75,21 év; range: 36,2-87,5 év). A tengelyhossz mediánja 23,26 mm, a műtét előtti elülső csarnok mélység mediánja 3,03 mm, a műtét utáni elülső csarnok mélység mediánja pedig 4,72 mm volt. A csarnokmélység becslési hibájának mediánja -0,58 mm-nek adódott. A részletes adatokat a 13. táblázat tartalmazza, a 3. ábrán pedig a pre- és posztoperatíven mért, valamint az SRK/T formula által becsült elülső csarnokmélység adatok és a tengelyhossz összefüggését ábrázoltuk.

A műtétek után a korrekció nélküli látásélesség 0,0 és 0,54 között volt, a korrigált látásélesség pedig 0,0 és 0,1 között, logMAR skálán. A szubjektív fénytörési hiba $\pm 0,25$ D-n belül volt 70 szemén (68,63%), 0,25 D vagy 0,5 D volt 21 szemén (20,59%) és több, mint 0,5 D volt 11 szemén (10,78%).

A tengelyhossz és a preoperatív mért illetve a preoperatív, formula által becsült effektív műlencse-helyzet közötti korrelációk statisztikailag szignifikánsak voltak ($r=0,31$; $p<0,001$ és $r=0,56$; $p<0,001$). A tengelyhossz és a csarnokmélység becslési hiba közti illetve a tengelyhossz és a szubjektív refrakciós hiba közti korreláció statisztikailag nem volt szignifikáns ($r=-0,12$; $p=0,21$ és $r=0,09$; $p=0,37$). Minél nagyobb volt a posztoperatív, Pentacammal mért csarnokmélység, annál nagyobb volt a csarnokmélység becslési hibája ($r=0,81$; $p<0,05$). A csarnokmélység becslési hiba és a preoperatív csarnokmélység közti korreláció nem volt szignifikáns ($r=-0,08$; $p=0,65$). A csarnokmélység becslési hiba és szubjektív refrakciós hiba közti korreláció szintén nem volt statisztikailag szignifikáns ($r=0,12$; $p=0,26$). Sem a csarnokmélység becslési hiba, sem a posztoperatív refrakciós hiba nem korrelált szignifikánsan az életkorral sem ($r=-0,25$; $p=0,21$ és $r=0,09$; $p=0,38$).

		medián	a medián 95% CI értéke	minimum	maximum	IQR
tengelyhossz (mm)		23,26	22,99-23,54	21,46	27,04	22,73-23,88
preoperatív csarnokmélység (mm)		3,03	2,96-3,18	2,14	4,63	2,86-3,30
posztoperatív csarnokmélység (mm)		4,72	4,61-4,82	2,517	5,88	4,42-5,04
csarnokmélység különbség (mm)		1,68	1,58-1,77	-0,58	1,93	1,35-1,97
az SRK/T képlet által becsült effektív műlencse-helyzet (mm)		5,25	5,19-5,28	4,57	6,07	5,09-5,42
csarnokmélység becslési hiba (mm)		-0,58	-0,68--0,39	-2,76	0,76	-0,84--0,19

13. táblázat: Az effektív műlencsehelyzetet elemző vizsgálatunk pre- és posztoperatív adataink statisztikai részletezése (n=102). IQR: interquartilis tartomány, 95% CI: a mediánérték 95% fiducia intervalluma, csarnokmélység különbség: a posztoperatív és preoperatív mért csarnokmélységek különbsége. Csarnokmélység becslési hiba: a posztoperatív, Pentacammal mért csarnokmélység és a preoperatív, SRK/T formula által becsült csarnokmélység különbsége.



3. ábra: Az egyes elülső csarnok mélység adatok (függőleges tengely, mm-ben) és a tengelyhossz (vízszintes tengely, mm-ben) összefüggése. Vörös jelölők és vonal: preoperatív csarnokmélység adatok Pentacam HR készülékkel mérve; zöld jelölők és vonal: posztoperatív csarnokmélység adatok Pentacam HR-el mérve; kék jelölők és vonal: az SRK/T formula által becsült elülső csarnok mélységek.

5.10.3 Megbeszélés

A szürkehályogműtét után sokszor tapasztalt, nem várt szubjektív fénytörési hiba háttérében számos ok állhat. Korábban a tengelyhossz és a keratometriás értékek precíz preoperatív mérése kritikus lépés volt a műlencse tervezés eredményének javításában, ma azonban az optikai mérési módszerek e hiba mértékét jelentősen csökkentették. A keratometriának -bár szintén úgy tűnt, hogy a jelenlegi módszerek megbízhatóan mérik- az utóbbi években ismét megnőtt a szerepe, a toricus műlencsék implantációja során kiderült pontatlanságuk miatt. A saját, korábban nem operált beteganyagunk is optikai biometria eredménye alapján került műtetre, így a tengelyhossz-mérési hibaforrás nagy valószínűséggel nem játszott jelentős szerepet a leírt refraktív hibák létrejöttében.

A cataracta műtét után tapasztalt fénytörési hiba háttérében álló legnagyobb probléma a műlencse axiális helyzetének helytelen preoperatív becslése. Elméletileg, a posztoperatív műlencse-helyzetet csak a ray-tracing módszer által kalkulált manifeszt refrakcióval lehet megállapítani. A capsulorhexis mérete, a lencsetok egyéni, variábilis posztoperatív változásai, a műlencse alaki kialakítása, a műlencse anguláció mértéke és a haptikák típusa is befolyásolják a műlencse végső, tokzsákon belüli helyzetét.

A biometriai képletek egyes konstansainak matematikai algoritmusokkal végzett módosítása, valamint a legújabb generációs műlencse-kalkulációs formulák használata a nem tervezett refrakciós hibát a páciensek körülbelül 75%-ában képes $\pm 0,50$ D-án belülre szorítani, egyebekben egészséges, korábban nem operált szemek esetén. Tehát az elérhető célunk a cataracta sebészet során ma „csak” az lehet, hogy ezt a predikciós hiba mértékét és előfordulási arányát csökkentjük, amennyire lehet, valamint elimináljuk a nagy fénytörési „meglepetéseket”, mert ez a jellegű hiba teljesen nem szüntethető meg a mai technika és mai biometriai módszerek alkalmazása mellett.

Amennyiben elemezni kívánjuk a posztoperatív predikciós hibákat, ismernünk kell a preoperatív és posztoperatív csarnokmélységeket, valamint a tervezett és elért refrakciós értékeket. Azonban a pseudophakiás csarnokmélység mérése az irodalom szerint igen ellentmondásos. Korábban igazoltuk, hogy a Pentacammal mért csarnokmélység átlagosan 0,44 mm-el kisebb, mint standard ultrahanggal mérve ugyanezt az adatot pseudophakiás szemeken. Ha a pseudophakiás szemeken állandó, az általunk mért 0,44 mm-es hibával számolunk (az ultrahangos és a Pentacam által mért csarnokmélységek között), 23,5 mm-es tengelyhossz érték és 43,5 D-ás keratometriás átlagérték mellett, azt kapjuk, hogy ez önmagában magyaráz(na) 0,35 D-ás refrakciós hibát átlagos műlencse dioptria mellett, Haigis formulát használva a biometriához. Jelen közlemény fő mondanivalója így nem is az, hogy a pseudophakiás csarnokmélység különbözik az IOLMaster által mértől, hanem hogy a formula által becsült csarnokmélységtől való eltérés értéke igen magas, miközben a szubjektív, posztoperatív reziduális fénytörési hiba tartománya igen kicsi; ezenkívül, nem is találtunk szignifikáns korrelációt a csarnokmélység becslési hiba és a szubjektív refrakciós hiba mértéke között. A szubjektív refrakciós hiba beteg- és vizsgáló általi megítélése szintén jelentős szerepet játszhat a teljes predikciós hibában, amit a páciensek képéletlenséggel szembeni toleranciájának illetve a homályosság szubjektív elfogadásának különbözőségével magyarázhatjuk. Egyéb tényezők (pupillaméret, lencsetok-zsugorodási- és az ismert életkorfüggő biometriai paraméterek) is befolyásolhatják a refraktív eredményt, amelyek messze túlmutatnak az előző csarnok mélység becslési hibáján.

Tanulmányunk egyik korlátja, hogy az objektív refrakciós értékeket nem dolgoztuk fel a műtétek után. Az objektív és a szubjektív refrakciós értékek közti különbség elemzése ismert irodalmi téma; ráadásul a szürkehályogműtét után a páciensek számára a hétköznapiakban a szubjektív refrakció hibaértéke számít.

Összefoglalva, az effektív műlencse-helyzet predikciós hibája széles tartományban mozog anélkül, hogy jelentősen befolyásolná a szubjektív posztoperatív refrakciós eredményt, standard, egyfókuszú műlencse beültetése után.

5.11 Az accomodatio amplitudójának mérése pseudophakiás szemeken, 3 módszerrel

5.11.1 Módszer

Phacoemulsificációs szürkehályogműtéten és műlencsebeültetésen átesett pácienseket vizsgáltunk, akiknél semmilyen patológiás állapot nem volt, ami a teljes visust akadályozta volna. A műtétek során az alábbi kétféle monofocalis műlencse egyike került beültetésre, véletlenszerű kiválasztás után. Az egytestű AcrySof® SA60AT (Alcon Laboratories, Forth Worth, TX, USA) „open loop” kialakítású műlencse, a haptika angulációja nélkül (1. csoport: n=21), a háromtestű AcrySof® MA60AC (Alcon Laboratories, Forth Worth, Texas, USA) haptikája pedig 10 fokos angulációjú (2. csoport, n=30). Három módszerrel mértük a pseudophakiás accomodatio amplitudóit. A három módszer kronológiai sorrendje mindig az alábbi volt: először a szubjektív, „minus-lenses-to-blur” módszerrel vizsgáltunk, majd az objektív mérésekkel folytattuk, először az elülső csarnok mélység változását alkalmazkodás alatt partialis coherencia interferometriával mértük, majd a csarnokmélység mérése közeli fixáció alatt, majd szintén a csarnokmélység változást elemeztük, a musculus ciliaris pharmacológiai relaxációja során.

1. módszer: Szubjektív „minus-lenses-to-blur” módszer

A páciens arra kértük, hogy a megvilágított olvasótáblán a teljes visusnak megfelelő számot nézze a vizsgált szemmel. A távoli korrekciós érték elé negatív dioptriás lencsét helyeztünk 0,25 D-ás lépésekben, egészen addig növelve a negatív dioptria értékét, amíg már a páciens nem tudta tovább fókuszban tartani a fixált számot. Ezt a maximális, negatív dioptriaértéket jegyeztük fel minden szem esetén, mint az alkalmazkodás amplitudójának szubjektív értékét.

2. módszer: Az elülső csarnok mélység változásának mérése alkalmazkodás alatt partialis coherencia interferometriával

Az elülső csarnok mélységét ACMasterrel mértük, melynek egy beépített, mozgatható belső fixáló pontja van. A pácienseket arra kértük, hogy erre a pontra nézzenek a vizsgálat alatt. Távoli beállításnál és 3,0 D accomodációs ingert alkalmazva, öt-öt csarnokmélység adatot rögzítettünk, ezek átlagának különbségét jegyeztük fel, mint a pseudophakiás szem fiziológias „ACD shift”-jét.

3. módszer: A csarnokmélység mérése közeli fixáció alatt, majd a musculus ciliaris pharmacológiai relaxáció során

Az elülső csarnok mélységét a nem vizsgált szem 30 cm-re való fixáltatása alatt mértük kontakt ultrahangos A-scan segítségével (Ultrascan Imaging System, Alcon). Ezután 1%-os cyclopentolat hydrochlorid (Humapent) 15 percenkénti, összesen háromszori cseppentése után szintén megmértük az elülső csarnok mélységét ülő állapotban, egyenes fejhelyzet mellett. Tíz-tíz mérés átlagával számoltunk tovább és a csarnokmélység változást a két mért érték különbségeként határoztuk meg, amit a maximális musculus ciliaris relaxáció és a fiziológias kontrakció közti különbségként értelmeztünk.

5.11.2 Eredmények

44 páciens 51, pseudophakiás szemét vizsgáltuk (életkor átlag: 72,02 év; SD: 8,53 év; range: 54-84 év). A műtétek után átlagosan 13,85 hónappal (SD: 7,35 hónap; 1. csoport esetén az átlag 7,05 hónap, SD: 4,71 hónap; a 2. csoport esetén az átlag 17,01 hónap, SD: 6,44 hónap) mértük az accomodációs amplitudókat a három különböző módszerrel.

A visusérték decimális skálán vizsgálva átlagosan 0,88 (SD: 0,2) volt. A távoli korrekció mértékének átlaga -0,92 D (SD: 0,91 D) volt (az 1. csoportban az átlag -0,93 D, SD: 0,99 D; a 2. csoportban az átlag -0,77 D, SD: 0,82 D; $p=0,44$). A vizsgált szemek tengelyhossza átlagosan 22,54 mm (SD: 0,89) mm volt (az 1. csoportban az átlag 22,68 mm, SD: 0,81 mm; a 2. csoportban az átlag 22,46 mm, SD: 0,96 mm; $p=0,68$).

Szubjektív „minus-lenses-to-blur” módszerrel:

A legnagyobb negatív dioptriaérték, amivel a visustáblán a 20/20 visushoz tartozó számot még élesen látta a vizsgált páciens, átlagosan -0,83 D (SD: 0,63 D) volt. Az 1. csoportban átlagosan -0,95 D-át (SD: 0,67 D; range: -2,5-0,0 D) mértünk, a 2. csoportban pedig átlagosan -0,81 D-át (SD: 0,53 D; range: -2,0-0,0 D). A különbség nem volt statisztikailag szignifikánsan különböző ($p=0,4$).

Az elülső csarnok mélység változásának mérése alkalmazkodás alatt partialis coherencia interferometriával:

A fiziológiás körülmények közt mért elülső csarnok mélység változás (ACD shift) átlagosan -0,026 mm (SD: 0,134 mm) volt. Az 1. csoportban átlagosan -0,043 mm (SD: 0,193 mm; range: -1,038-0,298 mm) változást mértünk, míg a 2. csoportban átlagosan 0,014 mm (SD: 0,079 mm; range: -1,063-0,385 mm) volt ez az érték. A két csoport között nem találtunk szignifikáns különbséget ($p=0,46$).

A csarnokmélység mérése közeli fixáció alatt, majd a musculus ciliaris pharmacológiai relaxációja során:

Az ACD shift összesített átlaga -0,18 mm (SD: 0,28 mm) volt. Az 1. csoportban átlagosan -0,16 mm (SD: 0,3 mm; range: -0,51-0,2 mm) csarnokmélység változást mértünk, a 2. csoportban pedig átlagosan -0,2 mm-t (SD: 0,28 mm; range: -0,49-0,1 mm). A különbség nem volt statisztikailag különböző a két csoport között ($p=0,68$). Az adatokat a 14. táblázat mutatja részleteiben.

A pharmacológailag indukált ACD shift mértéke és a szubjektív módszerrel mért accomodációs amplitudó közti korreláció nem volt statisztikailag szignifikáns mértékű (Spearman's $\rho=0,16$, $p=0,37$).

	a „minus-lenses-to-blur” módszerrel mért alkalmazkodási amplitudó (D)	Az elülső csarnok mélység változásának mérése partialis coherencia interferometriával (mm)	A csarnokmélység változásának mérése ultrahanggal (cycloplegia után-előtt) (mm)
egytetű műlencse	-0,95 (SD: 0,67)	-0,043 (SD: 0,193)	-0,16 (SD: 0,3)
háromtetű műlencse	-0,81 (SD: 0,53)	0,014 (SD: 0,079)	-0,20 (SD: 0,28)
összesített	-0,83 (SD: 0,63)	-0,026 (SD: 0,134)	-0,18 (SD: 0,28)

14. táblázat: Az alkalmazkodás amplitudója pseudophakiás szemeken, három különböző módszerrel mérve. A pozitív értékek a műlencse axiális tengelyen észlelt anterior mozgását, a negatív értékek pedig a hátrafelé való elmozdulását jelzik.

5.11.3 Megbeszélés

Monofocalis műlencse beültetése után a páciensek egy része képes jó távoli és közeli visust is elérni szemüveges korrekció nélkül illetve jó közeli visust produkál távoli korrekció mellett. Ezt a jelenséget a pseudophakiás szem pseudoaccomodatioja és a műlencse minimális mértékű, musculus ciliaris aktivitáshoz kötött, axiális elmozdulása magyarázhatja. A pseudophakiás szem accomodációs amplitudója jól korrelál a mélységélességgel, a pupilla átmérőjével és a corneális astigmatismus mértékével.

A pseudophakiás szemeken az accomodatiót szubjektív és objektív módszerekkel mérhetjük. A szubjektív módszerek eredménye nagymértékben függ a páciens kooperációjától, és a műlencse elmozdulása és a pseudophakiás pseudoaccomodatio együttes amplitudóját méri. A musculus ciliaris farmakológiai befolyásolása után használt objektív mérési módszerek pedig valószínűleg túlbecsülik a valódi accomodációs szélességet és műlencseelmozdulást. Az accomodatio mérési módszereit statikus, dinamikus illetve objektív és szubjektív módszerekre oszthatjuk. Vizsgálatunkban egy dinamikus, szubjektív módszert, a „minus-lenses-to-blur” módszert és két statikus, objektív, indirekt módszert alkalmaztunk, melyek során a csarnokmélység változást standard A-scan ultrahanggal illetve PCI technikával mértük accomodatio nélkül, majd accomodativ állapotban.

A cycloplegiával indukált, valószínűleg túlbecsült csarnokmélységváltozás adataink hasonlóak az irodalmi forrásokban találhatóéhoz mindkét műlencse esetén. Ez az elmozdulás körülbelül 0,3-0,35 D-ás pseudophakiás accomodatiót magyaráz átlagos tengelyhosszérték mellett. Ez az érték nagyjából az egyharmada annak a teljes accomodációs értéknek, melyet a pseudophakiás szemeken tapasztaltunk a szubjektív „minus-lenses-to-blur” módszerrel, tehát biztosan szerepe van a pseudophakiás pseudoaccomodationak is a tapasztalt eredményekben. A pseudophakiás szemeken mért accomodációs amplitudó megítélése ellentmondásos. A miosist okozó szemcseppek segítségével megítélendő accomodációs amplitudó során a mérés válhat nehezzé PCI eszközzel; a cycloplegiát és mydriasiszt okozó egyes hatóanyagok (phenylephrin) pedig magasabb rendű aberrációkat generálhatnak. A musculus ciliaris ingerlése illetve bénítása után mért accomodációs szélesség ráadásul csak egy potenciális amplitudót, és maximális műlencseelmozdulást mutat, nem a valódi, fiziológias körülmények közt elért pseudophakiás accomodatiót.

Ezek az ellentmondások illetve nehézségek a mi tanulmányunkban is kiütköztek. A különböző mérési módszerek eredményei közt jelentős különbségeket tapasztaltunk. Szignifikáns, fiziológias műlencse-elmozdulást nem igazoltunk PCI technikával egyik típusú műlencse beültetése után sem, a musculus ciliaris bénítással viszont átlagosan 0,3-0,35 D „kikényszerített” pseudophakiás accomodációs amplitudót mértünk. A szubjektív módszerrel pedig a teljes, átlagos accomodációs amplitudó pedig - 0,83 D volt, ami a pseudoaccomodációs és a pseudophakiás accomodációs amplitudó összesített értéke. Valószínűsíthető a fentieken kívül, hogy egyéb faktorok (motiváció, vizuális percepció tényezők) is szerepet játszanak a teljes accomodációs amplitudó kialakításában. A két, különböző kialakítású műlencse accomodációs inger hatására hasonlóan viselkedett, legalábbis kimutatható különbséget nem igazoltunk az alkalmazkodást tekintve egyik módszerrel sem.

Összefoglalásként, kimutattuk, hogy a pseudophakiás szemeken tapasztalt accomodatiót mérő különböző módszerek nem adnak egymással ekvivalens vagy összehasonlítható eredményt. Monofocalis műlencse beültetését követően sok esetben klinikailag is jelentős alkalmazkodást észlelünk, melynek további vizsgálata, elemzése szükséges.

5.12 Az accomodatio vizsgálata phakiás és pseudophakiás szemeken, szubjektív és objektív módszerrel

5.12.1 Módszer

Phakiás illetve pseudophakiás szemeket válogattunk be a vizsgálsorozatba, kisebb, mint 3,0 D szférikus illetve kisebb, mint 2,0 D cylindrikus refraktív hibával. A szubjektív refrakció vizsgálata után IOLMasterrel mértük a szemek tengelyhosszát, keratometriás értékeit és a csarnokmélységet. A pseudophakiás csoport esetén az aszférikus, monofocalis intraocularis műlencse beültetése utáni méréseket stabilizálódott refrakciós állapotban, a műtétek után minimum fél évvel, minden alkalommal ugyanaz a tapasztalt szemészorvos végezte. A fenti mérések után az alábbi 3 módszerrel vizsgáltuk az accomodatiót illetve a közben bekövetkező változásokat.

1. módszer: szubjektív „minus-lenses-to-blur” módszer

A páciens arra kértük, hogy a megvilágított olvasótablán a teljes visusnak megfelelő számot nézze a vizsgált szemmel. A távoli korrekciós érték elé negatív dioptriás lencsét helyeztünk 0,25 D-ás lépésekben, egészen addig növelve a negatív dioptria értékét, amíg a páciens már nem tudta tovább fókuszban tartani a fixált számot. Ezt a maximális, negatív dioptriaértéket jegyeztük fel minden szem esetén, mint az alkalmazkodás amplitudójának szubjektív értékét.

2. módszer: Az accomodatio és a pupillaátmérő mérése objektív accomodometerrel

Méréseinket Grand Seiko WAM-5500 binocularis accomodometerrel végeztük (Grand Seiko Co., Ltd.). A készülék egy nyitott mezejű (open-field) autorefractometer, infravörös pupillometriás funkcióval. A beteg ülő állapotában, előretámasztott, függőleges fejtartás mellett egy nyitott kereten tekintett át, két szemmel együtt, és valódi célpontot figyelt, tehát nem a műszerben elhelyezett fényforrás volt a fixáló pont. A távoli refraktív állapot és

pupillaméret vizsgálatát a kerettől 5 méterre elhelyezett célpont (egy fekete csillag, fehér alapon) fixáltatásával érték el. A közeli vizsgálat során, egy a műszer keretének felső részéhez gyárilag rögzített lécről lelógó, fehér alapon fekete csillag alakú célpontot fixált a beteg 50, 33 és 20 cm-es távolságban. A vizsgálat során a beteg mindkét szemével lát, de a két szem vizsgálata nem egyszerre zajlott, viszont a beteg nem is tudta megmondani, éppen melyik szem mérését végeztük. A mérés során a vizsgáló dolga volt, hogy a készülék joystick-ja segítségével a pupillát tartsa fókuszban az eszköz képernyőjén és instruálja a páciens a feladatra. A mérések centrális pupilláris beállítás mellett automatikusan történtek. Minden esetben három ismételt mérést végeztünk a következő beállításokkal: 0,01 D-ás mérési küszöb és 0,0 mm vertex távolság a refrakció méréséhez. Minden mérésnél a refraktív eredményt (szférikus és cylindrikus, tengelyértékkel) és a pupillaméretet rögzítettük a további számításokhoz. A vizsgáló szobában a környezeti megvilágítás szemmagasságban, luxméterrel mérve 5 és 15 lux között volt.

3. módszer: Az elülső szegmentum paraméterek és azok változásainak vizsgálata

Pentacam HR-el minden szemről 3 felvételt készítettünk távoli, 0,0 D-ás beállítás mellett, 25 kép/másodperc módban. Ezután a Pentacam HR vörös villogó kör alakú célpontját megváltoztattuk a Pentacam HR beépített dioptriaskálájával. Ez a beállított dioptriaérték szükséges a célpont élesen látásához, amihez az accomodatio a feltétel. A páciens kértük, hogy folyamatosan fókuszáljon a célpontra, a Scheimpflug kamera forgása alatt is, a képek így készültek el 2,0 D, 3,0 D és 5,0 D inger mellett is, 3-3 alkalommal. A következő adatokat rögzítettük a további számításokhoz: elülső csarnok mélység, teljes corneális RMS, a corneális magasabb rendű aberrációk RMS értéke, corneális szférikus aberráció.

A pseudophakiás csoport esetén az aszférikus, monofocalis intraocularis műlencse beültetése utáni méréseket stabilizálódott refrakciós állapotban, a műtétek után minimum fél évvel, minden alkalommal ugyanaz a tapasztalt szemészorvos végezte.

5.12.2 Eredmények

44 phakiás és 27 pseudophakiás beteget vontunk be a vizsgálatainkba. Az életkor átlaga 36,34 év volt a phakiás csoportban (SD: 16,6 év; 95% CI: 32,8-39,8 év; range: 19-75 év) és 69,3 év (SD: 9,98 év; 95% CI: 66,54-72,05 év; range: 20-84 év) volt a pseudophakiás csoportban ($p < 0,01$). A tengelyhossz átlaga 23,41 mm (SD: 1,02 mm; 95% CI: 23,19-23,63 mm; range: 21,34-26,37 mm) volt a phakiás és 23,16 mm (SD: 1,14 mm; 95% CI: 22,84-23,47 mm; range: 21,16-26,3 mm) a pseudophakiás csoportban, IOLMasterrel mérve ($p = 0,63$). Az elülső csarnok mélysége a phakiás csoportban átlagosan 3,43 mm volt (SD: 0,41 mm; 95% CI: 3,34-3,52 mm; range: 2,17-4,33 mm) IOLMasterrel mérve. Az astigmatismus a phakiás csoportban 73 esetben direkt irányú volt (82,9%), 4 esetben indirekt (4,6%), 11 esetben ferde (12,5%), a pseudophakiás csoportban 27 esetben direkt (50%), 17 esetben indirekt (31,5%), 10 esetben pedig ferde (18,5%) volt. A szubjektív alkalmazkodás mértéke és az astigmatismus típusa között nem találtunk szignifikáns összefüggést (ANOVA $p = 0,28$).

1. módszer: Az accomodatio szubjektív mérése

A szubjektív alkalmazkodás mértéke phakiás szemben átlagosan 4,49 D volt (SD: 3,48 D; 95% CI: 3,74-5,24 D; range: 0,0-12,0 D). Az életkorral, a corneális szférikus aberrációval, a nyugalmi pupillaátmérővel és csarnokmélységgel, valamint a pupillaátmérő és a csarnokmélység alkalmazkodás alatti megváltozásával is szignifikáns korrelációt mutatott ($r=-0,8$, $p<0,001$; $r=-0,25$, $p=0,02$; $r=0,46$, $p<0,001$; $r=0,41$, $p<0,001$; $r=-0,25$, $p=0,01$; $r=-0,39$, $p<0,001$; sorban).

A szubjektív alkalmazkodás pseudophakiás szemek esetén átlagosan 0,50 D volt (SD: 0,28 D; 95% CI: 0,42-0,58 D; range: 0,0-1,0 D) és a phakiás csoportban említett egyetlen paraméterrel sem találtunk szignifikáns korrelációt.

2. módszer: Objektív accomodatio és pupillaátmérő mérés

Phakiás szemben 2,0 D inger hatására 0,46 D-ás (SD: 1,02 D), 3,0 D inger hatására 1,06 D-ás (SD: 1,33 D), 5,0 D inger hatására pedig 2,2 D-ás (SD: 1,9 D) átlagos objektív alkalmazkodást mértünk (ANOVA $p<0,001$). Összefüggés volt kimutatható ezen értékek és az életkor, az astigmatismus mértéke, a nyugalmi csarnokmélység, a teljes corneális RMS érték, a csarnokmélység- és pupillaméret-változás és a corneális szférikus aberráció és az accomodatio alatt megfigyelt szférikus aberráció változása között ($r>0,7$, $p<0,001$; $r>0,4$, $p<0,001$; $r<-0,5$, $p<0,001$; $r>0,25$, $p<0,01$; $r>0,3$, $p<0,01$; $r>0,25$, $p<0,01$; $r>0,35$, $p<0,001$; $r<-0,3$, $p<0,01$; sorban).

A pseudophakiás szemeken 2,0 D-ás inger hatására átlag 0,23 D (SD: 0,4 D), 3,0 D-ás inger hatására átlag 0,13 D (SD: 0,5 D), 5,0 D-ás inger hatására pedig átlag 0,12 D (SD: 0,5 D) objektíven mérhető átlagos alkalmazkodást mértünk (ANOVA $p=0,55$). Az objektív alkalmazkodás mértéke a pseudophakiás szemek 30%-ában lépte túl a 0,5 D-t az alkalmazott ingerek hatására; ezen szemeken a szubjektív alkalmazkodás értéke is magasabb volt (átlagosan 0,69 D; SD: 0,53 D). Az objektív alkalmazkodás mértékét tekintve nem találtunk a fenti paraméterekkel egy esetben sem szignifikáns korrelációt, azonban a szférikus aberráció mértékével igen ($r>0,3$; $p<0,001$).

A nyugalmi helyzetű pupilla átmérője phakiás szemeken átlagosan 5,54 mm (SD: 1,03 mm; 95% CI: 5,31-5,78 mm; range: 2,9-7,6 mm), pseudophakiás szemeken pedig 3,94 mm (SD: 0,86 mm; 95% CI: 3,69-4,19 mm; range: 2,5-5,8 mm) volt ($p<0,001$). A pupillaátmérő változása a teljes, 5,0 D-ás accomodatív inger alatt phakiás szemeken átlagosan -0,69 mm volt (SD: 0,74 mm; 95% CI: -0,85- -0,52 mm; range: -3,2-0,8 mm), pseudophakiás szemeken pedig átlagosan -0,9 mm (SD: 1,46 mm; 95% CI: -1,33 - -0,47 mm; range: -5,6 mm 0,93 mm) ($p=0,26$).

A szubjektív módszer eredménye phakiás és pseudophakiás szemben is jelentősen túlbecsüli az objektíven mért accomodációs amplitudót ($p<0,001$) és a két módszer eredménye jól korrelált phakiás ($r=0,76$; $p<0,001$) szemeken és nem mutat statisztikailag szignifikáns korrelációt pseudophakiás szemeken ($r=0,05$; $p=0,73$).

Az accomodatív lag mértéke a phakiás csoportban átlagosan 2,68 D (SD: 2,28 D; 95% CI: 2,19-3,17 D; range: 0,0-9,2 D) volt, a pseudophakiás csoportban pedig átlagosan 4,93 D (SD: 0,68 D; 95% CI: 4,74-5,12 D; range: 3,2-7,02 D) ($p<0,001$). Értéke jól korrelált az életkorral ($r=0,85$; $p<0,001$) a phakiás csoportban és a szignifikancia szint határán volt a pseudophakiás csoportban ($r=0,26$; $p=0,05$).

3. módszer: Az elülső szegmentum paraméterek és azok változásainak vizsgálata

A csarnokmélység változása a teljes accomodativ folyamat alatt Pentacam HR-el vizsgálva a phakiás csoportban átlagosan -0,02 (SD: 0,05 mm; 95% CI: -0,03- -0,01 mm; range: 0,05- -0,25 mm), pseudophakiás szemeken pedig átlag -0,04 mm (SD: 0,19 mm; 95% CI: 0,19- -0,5 mm; range: -0,5-0,43 mm) ($p=0,28$) volt. Pseudophakiás szemeken 15 esetben (28%) mértünk 0,3 mm feletti tényleges mülencse elmozdulást.

A corneális teljes RMS phakiás szemeken, távolra tekintéskor átlagosan 1,82 μm (SD: 1,05 μm ; 95% CI: 1,6-2,05; range: 0,78-6,8 μm), közeli, 5,0 D inger mellett átlagosan 1,74 μm (SD: 0,64 μm ; 95% CI: 1,60-1,88; range: 0,72-5,46 μm) volt ($p=0,45$). Pseudophakiás szemeken lényegesen nagyobb RMS értékeket mértünk a phakiás szemekéhez képest ($p<0,001$). Távolra tekintéskor a teljes corneális RMS átlaga 3,15 μm (SD: 2,18 μm ; 95% CI: 2,55-3,75 μm ; range: 1,01-11,88 μm), közeli, 5,0 D-ás inger mellett átlagosan 2,97 μm (SD: 1,82 μm ; 95% CI: 2,44-3,49 μm , range: 0,91-7,5 μm) volt ($p=0,51$).

Amennyiben kiemeljük a corneális magasabb rendű aberrációk RMS értékeit, szintén látható, hogy a pseudophakiás szemek értékei jóval nagyobbak, mint a phakiás szemeké ($p<0,001$). A corneális teljes magasabb rendű aberrációk RMS értéke phakiás szemeken távolra tekintéskor átlag 0,38 μm (SD: 0,19 μm ; 95% CI: 0,34-0,42 μm ; range: 0,17-1,85 μm), közeli, 5,0 D-ás inger mellett pedig átlagosan 0,39 μm (SD: 0,27 μm ; 95% CI: 0,33-0,46 μm ; range: 0,16-2,10 μm) volt ($p=0,45$). Távolra tekintéskor a teljes corneális magasabb rendű aberrációk átlagos RMS értéke pseudophakiás szemeken 0,94 μm (SD: 0,83 μm ; 95% CI: 0,71-1,17 μm ; range: 0,24-4,50 μm), közeli, 5,0 D-ás inger mellett pedig átlag 0,87 μm (SD: 0,68 μm ; 95% CI: 0,68-1,06 μm ; range: 0,24-3,24 μm) volt ($p=0,65$).

A szférikus aberráció értéke távolra tekintéskor phakiás szemeken átlag 0,78 μm volt (SD: 0,35 μm ; 95% CI: 0,71-0,86; range: 0,16-2,61 μm), közeli, 5,0 D-ás inger mellett pedig átlag 0,75 μm (SD: 0,31 μm ; 95% CI: 0,68-0,81 μm ; range: 0,01-1,73 μm) volt ($p=0,57$); pseudophakiás szemeken pedig átlag 0,83 μm (SD: 0,33 μm ; 95% CI: 0,74-0,92 μm ; range: 0,23-1,74 μm), közeli, 5,0 D-ás inger mellett pedig átlagosan 0,86 μm (SD: 0,38 μm ; 95% CI: 0,75-0,97 μm ; range: 0,05-2,1 μm) volt ($p=0,62$). A phakiás és pseudophakiás szem szférikus aberráció értékei között nem volt különbség ($p=0,86$).

5.12.3 Megbeszélés

A human accomodatio során a teljes szem fénytörési értéke változik meg, mely folyamatban döntő a szemlencse dioptriaerejének megváltozása. A fizioiógias accomodatio feltétele a musculus ciliaris aktív működése, anatómiai háttere a klasszikus elmélet szerint elsősorban a lencse alakí változásaiban található meg, emellett azonban a lencse elmozdulása is szerepet játszhat. Az életkor előrehaladtával a lencse alakja, mérete és helyzete is változik. A szem maximális accomodatiós amplitúdó életkorral történő folyamatos csökkenése, majd megszűnése a presbyopia, aminek megoldása illetve az accomodatio helyreállítása a jelenkori szemészet egyik legnagyobb kihívása. A különböző műtéti megoldások hatásának elemzéséhez az accomodatio mérése és megértése elengedhetetlen. A szubjektív mérés során a valódi alkalmazkodás mellett számos egyéb tényező is jelentős szerepet játszik az eredményben (a pupilla átmérője, a corneális aberrációk hatása és a megnövekedett mélységélesség), az objektív mérés viszont műszerezettséghez kötött.

Tanulmányunkban az accomodatio során végbemenő refraktív és pupillaméretbeli változásokat mértük egy open-field autorefractometerrel phakiás és pseudophakiás szemeken és az eredményeket szubjektív teszt eredményeivel hasonlítottuk össze, valamint Scheimpflug analízissel követtük az accomodatio közben észlelhető változásokat a szem elülső szegmentumában. Objektív méréseink

során nem figyeltünk meg változásokat a corneális aberrációkban az alkalmazkodás alatt, viszont azt tapasztaltuk, hogy a pseudophakiás szem teljes corneális RMS-e és teljes magas rendű aberrációk RMS-e lényegesen nagyobb, mint a phakiás szemeké. Ez az eltérés jórészt az életkori különbségből adódik és segíthet a mélységélesség növelésében. A miosis az accomodativ folyamat részeként jelentősen befolyásolja a magas rendű aberrációk hatását így a mélységélességet is. Emellett a teljes szem illetve a corneális magas rendű aberrációi, főleg a szférikus aberráció az életkorral is ismerten növekednek, a szem mélységélessége ezért is nő. Beteganyagunkon is jól látható a magas rendű aberrációk RMS értékének és a szférikus aberrációnak az életkorral együtt történő növekedése.

A leggyakrabban alkalmazott szubjektív módszer az accomodatio mérésére a push-up teszt és a minus-lens-to-blur teszt. Az első esetén a távoli korrekció viselése mellett a célpont közelítésénél szól a vizsgált páciens, amikor a látott szöveg már nem tartható élesen fókuszban, a második esetén a távoli célpont fixálásánál keressük meg azt a negatív lencse értéket, ahol a kép homályossá válik. Ezen módszerek egyszerre stimulálják és mérik az accomodatiót. A szubjektív tesztek túlbecsülik az objektív teszt által mért értékeket, és inkább az olvasási képesség becslésére szolgálnak, ami viszont a páciens számára a fontos és érdekes. A szubjektív tesztek során az aktív, valódi accomodatio által kiváltott refraktív változáshoz hozzáadódik a szűkebb pupilla mélységélességet növelő hatása és a szem teljes aberrációinak hatása is, valamint a homályosság érzése iránti tolerancia is. Ezekkel magyarázható pseudophakiás betegeinken az átlagosan 0,5 D-ás szubjektív alkalmazkodási amplitudó monofocalis intraocularis lencse implantáció után. Méréseinkben igazoltuk a senilis miosis jelenlétét: a pseudophakiás szemeken lényegesen szűkebb pupillát mérünk, ami az accomodatio folyamatában kissé segíthet, valamint igazoltuk a corneális aberrációk fokozott jelenlétét is idősebb korban. Ismert, hogy a kiskokú, indirekt myopiás astigmatismus segítheti, javíthatja a pseudophakiás szemek korrekció nélküli közeli visusát, bár mi a kisebb esetszámú beteganyagunkon nem találtunk összefüggést a szubjektív alkalmazkodási amplitudó és az astigmatismus meridiánjának típusa között.

Az objektív tesztek a szem dioptriaerejének valódi változását mérik. Az infravörös fényt alkalmazó open-field refractometerek valós környezetben észlelt valós, binocularis, fiziológiás alkalmazkodást és pupillaméret-változást képesek mérni. Az accomodatio mérésénél felmerül, hogy abban az esetben, ha az egyik szemet letakarjuk, nem kapunk-e hibás eredményeket. Méréseink során az open-field refractometerrel binocularis accomodatio során vizsgáltuk az egyik szemet, a másik letakarása nélkül.

Az accomodatio szubjektív és objektív mérhető pseudophakiás szemén is. Pseudophakiás szemén az indirekt mérések során tapasztalt elülső csarnok mélység változásból a mülencse elmozdulására következtettünk ultrahangos A-scan mérésekkel és partialis coherencia interferometriával pilocarpinnal illetve phenylephrinnel elért musculus ciliaris ingerlés illetve bénítás előtt és után. Ezen elmozdulás mértéke nagyban függ a mérési technikától és inkább az elérhető maximális accomodatiós potenciált mérik. A standard monofocalis mülencse beültetése után nem várunk, de nem is mérnek jelentős objektív alkalmazkodást. Különböző mülencsék beültetése esetén is egy ismert Grand-Seiko autorefractometer valid és ismételhető refrakciós eredményeket adott. Méréseink szerint is az autorefractometer és a szubjektív módszer által kapott eredmények különbségei meglehetősen állandóak.

Monofocalis mülencsével az accomodatio szubjektív amplitudója nagyobb értékű is lehet, mely háttérben a megnövekedett mélységélesség illetve a szem magas értékű aberrációi állhatnak. Amennyiben objektív mérést végzünk autorefractometerrel, az accomodatio amplitudója 0,1 D környékén van pseudophakiás szemeken irodalmi adatok szerint, és méréseink is ehhez hasonló, átlagos, valódi alkalmazkodást mutatnak. Az alkalmazkodás közben mért csarnokmélység változás minimális méréseink szerint, bár a betegeink 28%-ában legalább 0,3 mm-es csarnokmélység változást mértünk. A Pentacam HR vizsgálat során valószínűleg nagyobb szerepe van a motivációnak, vagyis hogy a vizsgált egyén mennyire „akarja” fókuszba hozni illetve ott tartani a célpontot a mérés időtartama alatt.

Vizsgálatainkat monofocalis intraocularis lencse beültetése után végeztük, és csak minimális, klinikailag sem jelentős objektív alkalmazkodás mellett mintegy 0,5 D-ás, átlagos szubjektív alkalmazkodást igazoltunk. Nem találtunk jelentős korrelációt a pseudophakiás szemén mért szubjektív és objektív alkalmazkodás és a vizsgált paraméterek között, csak a szférikus ekvivalens és az objektív alkalmazkodás mértéke közt. A pseudophakiás szemén, a senilis miosisnak köszönhetően jóval szűkebb a pupilla saját méréseink szerint is. Az összes vizsgált paraméter közül valószínűleg ennek és az életkornál fogva is magasabb mértékű corneális aberrációknak van jelentősége a pseudophakiás szem mélységélességének megnövelésében.

Összefoglalva, méréseink igazolják, hogy phakiás szemeken a szubjektív alkalmazkodás lényegesen nagyobb, mint az objektív mérhető. A pseudophakiás szemén mérhető mintegy 0,5 D-ás szubjektív alkalmazkodás a miosis miatt megnövekedett mélységélesség illetve az életkornak megfelelően lényegesen nagyobb corneális aberrációk együttes hatásának köszönhető. Pseudophakiás szemén objektív mérhető, minimális, és klinikailag sem jelentős alkalmazkodást Grand-Seiko WAM-5500 autorefractometerrel tudtunk kimutatni, melynek eredményei viszont nagyon jól korreláltak a szubjektív teszt eredményeivel.

6. Az új eredmények összefoglalása

1. Optikai képalkotó módszerek eredményeinek összehasonlításával igazoltuk, hogy a cornea horizontális átmérője jelentősen nagyobb, mint a csarnokzugok közötti távolság. A csarnokzugok egymástól mért legnagyobb távolsága pedig vizsgálataink szerint horizontálisan nagyobb, mint vertikálisan, két különböző optikai elvet használó készülékkel mérve.
2. Igazoltuk, hogy a cornea vastagsága partialis coherentia interferometria segítségével mérve jelentősen kisebb, mint a standard ultrahangos eszközzel, viszont az optikai coherentia tomograph és a Scheimpflug képalkotás azzal azonos szaruhártya-vastagság eredményeket ad.
3. Egy képvezérelt keratometriai eszköz esetén először bizonyítottuk, hogy a rendszer mérési ismételhetősége nagyon magas és egy standard biometriai műszer eredményeivel többségében azonos keratometriai eredményeket ad.
4. Igazoltuk, hogy optikai módszerrel mérve a corneális astigmatismus mértéke átlagosan 0,9 D és az esetek több, mint 30%-ában nagyobb, mint 1,0 D. Az astigmatismus tengelye az életkorral előrehaladva indirekt irányú változáson megy át.
5. Scheimpflug képalkotással bizonyítottuk, hogy a cornea hátsó felszínén mért astigmatismus mértéke mintegy 0,3 D, mely nagyrészt független az elülső felszín astigmatismus mértékétől és legtöbbször annak irányától is. Igazolást nyert, hogy nincs jelentős életkori shiftje, mint a cornea elülső felszínén, és minden nyolcadik szemén mértéke nagyobb, mint 0,5 D. A cornea hátsó felszín astigmatismusa így klinikai jelentőséggel is bír, főleg olyan műtéti beavatkozások esetén, ahol a cél az astigmatismus befolyásolása.
6. Bizonyítottuk, hogy a kettős corneális sebzés technikája egy hatékony, egyszerű, külön költség nélküli beavatkozás szürkehályogműtét során azon esetekben, ahol 1,0-1,5 D közötti corneális astigmatismust mérünk a tervezett műtét előtt. Ilyen esetekben viszonylag jól kiszámítható eredményt mutat az egymással szemközt elhelyezett két corneális seb tengelyétől lényegében függetlenül, ráadásul ez az eredmény számottevően nem változik a posztoperatív időben sem.
7. Scheimpflug kamera segítségével bizonyítottuk, hogy a cataracta műtét során indukált astigmatismusnak a hátsó corneális felszínen is kifejezett a hatása, ráadásul ennek mértéke és iránya sokszor nem függ össze a klinikumban hagyományosan mért elülső corneális felszín indukált astigmatiájával. Igazoltuk, hogy a hátsó corneális felszínen indukált astigmatismus mértéke minden negyedik szem esetén nagyobb, mint 0,5 D.
8. Scheimpflug képalkotás segítségével bizonyítottuk, hogy a cornea magasabb rendű aberrációnak összessége az életkorral együtt növekedik, melyet döntően az elülső corneális felszín ilyen irányú változása okoz. Igazoltuk a primer és secunder szférikus aberráció, valamint a hátsó corneális felszín coma és trefoil aberrációinak életkorral együtt bekövetkező szignifikáns változását is.
9. Először az irodalomban leírtuk egy új, in vivo corneális biomechanikai vizsgálóeljárással mért normál paramétereket, valamint, hogy ezen speciális biomechanikai jellemzők közül csak kettőnek a mérési ismételhetősége kiváló. Nem mutattunk ki jelentős életkori változást a cornea mérhető biomechanikai paramétereiben ezzel a műszerrel.
10. Igazoltuk, hogy corneális refraktív műtétek után rövidtávon megváltoznak a cornea egyes mérhető biomechanikai paraméterei, de egy hónap elteltével újra a preoperatív értékeket mértük. Arra következtettünk ezzel az új eszközzel vizsgálva a corneális biomechanikát, hogy a PRK műtét biomechanikai szempontból kevésbé invazív műtét, mint a LASIK.
11. Az elülső csarnok mélység mérésével kapcsolatban igazoltuk egy elülső szegmentum optikai coherentia tomograph jó használhatóságát és magas mérési megbízhatóságát. Igazoltuk, hogy a Scheimpflug képalkotás segítségével mért elülső csarnok mélység adatok pseudophakiás szemén jelentősen különböznek az ultrahangos mérésekéhez képest. A klinikai gyakorlatban figyelembe

kell venni, hogy a különböző optikai eszközökkel ugyanazon szemeken nem azonos csarnokmélységeket mérünk.

12. Igazoltuk, hogy zárt immerziós kamra segítségével végzett ultrahangos műlencsetervezés esetén a refraktív kimenetel lényegesen nem különbözik az optikai módszerrel kapott eredményekhez képest. A biometriai konstansok matematikai optimalizálása viszont jelentősen javít cataractaműtét esetén a refraktív eredményeken.
13. Igazoltuk, hogy a szürkehályogműtét során beültetett műlencse axiális helyzetének preoperatív becslési hibája széles tartományban mozog anélkül, hogy befolyásolná a tényleges, műtét után észlelt, szubjektív refrakciós eredményt.
14. Kimutattuk, hogy a pseudophakiás szemeken tapasztalt accomodatiót mérő különböző módszerek nem adnak egymással ekvivalens illetve összehasonlítható eredményt. Monofocalis műlencse beültetését követően sok esetben klinikailag is jelentős alkalmazkodási mértéket észleltünk.
15. Igazoltuk, hogy phakiás szemeken a szubjektív alkalmazkodás lényegesen nagyobb, mint az objektív mérhető. Pseudophakiás szemeken objektíven is mérhető, minimális, és klinikailag sem jelentős alkalmazkodást egy objektív accomodometerrel tudtunk kimutatni. Az objektíven mért alkalmazkodás mértéke emellett nagyon jól korrelált a szubjektív teszt eredményeivel.

7. Közleménylista

7.1 Az értekezés alapjául szolgáló közelmények listája

1. **Nemeth G**, Tsorbatzoglou A, Kertesz K, Vajas A, Berta A, Modis L Jr.: Comparison of central corneal thickness measurements with a new optical device and a standard ultrasonic pachymeter. J Cataract Refract Surg 2006;32:460-463 (IF: 2.285, független idéző: 20)
2. **Nemeth G**, Vajas A, Kolozsvári B, Berta A, Modis L Jr.: Anterior chamber depth measurements in phakic and pseudophakic eyes: Pentacam versus ultrasound device. J Cataract Refract Surg 2006;32:1331-1335 (IF: 2.285, független idéző: 44)
3. **Nemeth G**, Vajas A, Tsorbatzoglou A, Kolozsvári B, Modis L Jr., Berta A: Assessment of anterior chamber depth and its reproducibility with an anterior segment optical coherence tomography compared to immersion ultrasonic method. J Cataract Refract Surg 2007;33:443-447 (IF: 2.497, független idéző: 43)
4. **Nemeth G**, Tsorbatzoglou A, Vamosi P, Sohajda Z, Berta A: A comparison of accommodation amplitudes in pseudophakic eyes measured with three different methods. Eye 2008;22:65-69 (IF: 2.064, független idéző: 7)
5. **Nemeth G**, Hassan Z, Szalai E, Berta A, Modis L: Comparative analyses of white-to-white and angle-to-angle distance measurements with IOLMaster and Visante OCT. J Cataract Refract Surg 2010;36:1862-1866 (IF: 2.942, független idéző: 4)
6. **Nemeth G**, Hassan Z, Modis L Jr., Szalai E, Katona K, Berta A: Comparison of anterior chamber depth measurements conducted with Pentacam HR and IOLMaster. Ophthalmic Surg Lasers Imaging 2011;42:144-147 (IF: 1.042, független idéző: 4)
7. **Nemeth G**, Nagy A, Berta A, Modis L Jr.: Comparison of intraocular lens power prediction using immersion ultrasound and optical biometry with and without formula optimization. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 2012;250:1321-1325 (IF: 1.932, független idéző: 4)
8. **Nemeth G**, Hassan Z, Szalai E, Berta A, Modis L Jr.: Anterior segment parameters measured with 2 optical devices compared to ultrasonic data. Eur J Ophthalmol 2013;23:177-182 (IF: 1.058, független idéző: 2)
9. **Nemeth G**, Hassan Z, Szalai E, Berta A, Modis L Jr.: Analysis of age-dependence of the anterior and posterior cornea with Scheimpflug imaging. J Refract Surg 2013;29:326-331 (IF: 2.781)
10. **Nemeth G**, Szalai E, Berta A, Modis L Jr.: Astigmatism prevalence and biometric analysis in normal population. Eur J Ophthalmol 2013;23:779-783 (IF: 1.058, független idéző: 3)
11. **Nemeth G**, Hassan Z, Csutak A, Szalai E, Berta A, Modis L Jr.: Repeatability of ocular biomechanical data measurements with a Scheimpflug-based noncontact device on normal corneas. J Refract Surg 2013;29:558-563 (IF: 2.781, független idéző: 36)
12. **Nemeth G**, Lipecz A, Szalai E, Berta A, Modis L Jr.: Accommodation in phakic and pseudophakic eyes measured with subjective and objective methods. J Cataract Refract Surg 2013;39:1534-1542 (IF: 2.552, független idéző: 3)
13. **Nemeth G**, Kolozsvári B, Berta A, Modis L Jr.: Paired opposite clear corneal incision: time-related changes of its effect and factors those changes depend on. Eur J Ophthalmol 2014;24:676-681 (IF: 1.068, független idéző: 1)
14. **Nemeth G**, Modis L, Hassan Z, Szalai E, Berta A: Differences between the estimated and Scheimpflug image measured axial intraocular lens positions and their relation to refractive error after cataract surgery. Letter to the Editor. J Refract Surg 2014;30:513-514

15. Hassan Z, Modis L Jr., Szalai E, Berta A, **Nemeth G**: Examination of ocular biomechanics with a new Scheimpflug technology after corneal refractive surgery. Cont Lens Anterior Eye 2014;37:337-341 (IF: 2.0, független idéző: 6)
16. **Nemeth G**, Berta A, Szalai E, Hassan Z, Modis L Jr.: Analysis of surgically induced astigmatism on the posterior surface of the cornea. J Refract Surg 2014;30:604-608 (IF: 2.781, független idéző: 2)
17. **Nemeth G**, Berta A, Lipecz A, Hassan Z, Szalai E, Modis L Jr.: Evaluation of posterior astigmatism measured with Scheimpflug imaging. Cornea 2014;33:1214-1218 (IF: 2.36, független idéző: 1)
18. **Nemeth G**, Módis L, Hassan Z, Szalai E, Berta A: A műlencse-helyzet becslési hibája és összefüggése a szubjektív fénytörési hibával cataracta műtét után. Szemészet 2014;151:72-76
19. **Nemeth G**, Szalai E, Hassan Z, Lipecz A, Berta A, Modis L Jr.: Repeatability Data and Agreement of Keratometry with a Novel Image-guided System Compared to a Standard Method. J Refract Surg 2015;31:333-337 (IF: 2.781)
20. Modis L Jr., Hassan Z, Szalai E, Flaskó Zs, Berta A, **Nemeth G**: Ocular biomechanical measurements on post-keratoplasty corneas using a Scheimpflug-based noncontact device. Int J Ophthalmol (közlésre elfogadva, nyomdában) 2016;9(2) (IF: 0.705)

7.2 Egyéb, jelen értekezéshez nem felhasznált, angol nyelvű közlemények listája

1. Vamosi P, **Nemeth G**, Berta A: Pseudophakic accommodation with 2 models of foldable intraocular lenses. J Cataract Refract Surg 2006;32:221-226 (IF: 2.285, független idéző: 19)
2. Tsorbatzoglou A, **Nemeth G**, Math J, Berta A: Pseudophakic accommodation and pseudoaccommodation under physiological conditions measured with partial coherence interferometry. J Cataract Refract Surg 2006;32:1345-1350 (IF: 2.285, független idéző: 24)
3. Tsorbatzoglou A, **Nemeth G**, Szell N, Biro Zs, Berta A: Anterior segment changes with age and during accommodation measured with partial coherence interferometry. J Cataract Refract Surg 2007;33:1597-1601 (IF: 2.497, független idéző: 29)
4. Tsorbatzoglou A, Kertesz K, Módis L, **Nemeth G**, Math J, Berta A: Corneal endothelial function after phacoemulsification using the fluid-based system compared to conventional ultrasound technique. Eye 2007;21:727-732 (IF: 2.294, független idéző: 6)
5. Tsorbatzoglou A, Modis L, Kertesz K, **Nemeth G**, Berta A: Comparison of divide and conquer and phaco-chop techniques during fluid-based phacoemulsification. Eur J Ophthalmol 2007;17:315-319 (IF: 1.018, független idéző: 2)
6. **Nemeth G**, Felszeghy Sz, Kenyeres A, Szentmary N, Berta A, Suveges I, Modis L Jr.: Cell adhesion molecules in stromal corneal dystrophies. Histol Histopathol 2008;23:945-952 (IF: 2.194, független idéző: 4)
7. Modis L Jr., Szalai E, **Nemeth G**, Berta A: Evaluation of a recently developed noncontact specular microscope in comparison with conventional pachymetry devices. Eur J Ophthalmol 2010;20:831-838 (IF: 0.98, független idéző: 7)
8. Szalai E, Berta A, **Nemeth G**, Hassan Z, Modis L Jr.: Anterior chamber depth measurements obtained with Pentacam HR imaging system and conventional A-scan ultrasound. Ophthalmic Surg Lasers Imaging 2011;42:248-253 (IF: 1.042, független idéző: 1)
9. Fodor M, Petrovski G, Moe MC, Biro Z, **Nemeth G**, Dinya Z, Tornai I, Ujvári T, Berta A, Facsko A: Spectroscopic study of explanted opacified hydrophilic acrylic intraocular lenses. Acta Ophthalmol 2011;89:e161-166 (IF: 2.629, független idéző: 6)

10. Modis L Jr., Szalai E, **Nemeth G**, Berta A: Reliability of the Corneal Thickness Measurements With the Pentacam HR Imaging System and Ultrasound Pachymetry. *Cornea* 2011;30:561-566 (IF: 1.733, független idéző: 7)
11. Szalai E, **Nemeth G**, Berta A, Modis L Jr.: Evaluation of the corneal endothelium using noncontact and contact specular microscopy. *Cornea* 2011;30:567-570 (IF: 1.733, független idéző: 4)
12. Modis L Jr., Szalai E, Kolozsvári B, **Nemeth G**, Vajdas A, Berta A: Keratometry evaluations with the Pentacam high resolution in comparison with the automated keratometry and conventional corneal topography. *Cornea* 2012;31:36-41 (IF: 1.746, független idéző: 12)
13. Hassan Z, Szalai E, Berta A, Modis L Jr., **Nemeth G**: Assessment of tear osmolarity and other dry eye parameters in post-LASIK eyes. *Cornea* 2013;32:e142-145 (IF: 2.36, független idéző: 7)
14. Hassan Z, Szalai E, Modis L Jr., Berta A, **Nemeth G**: Assessment of corneal topography indices after collagen cross-linking for keratoconus. *Eur J Ophthalmol* 2013;23:635-640 (IF: 1.058, független idéző: 6)
15. **Nemeth G**, Hassan Z, Szalai E, Berta A, Modis L Jr.: Scheimpflug imaging in anterior megalophthalmos. *Indian J Ophthalmol* 2013;61:32-35 (IF: 0.927)
16. Hassan Z, Modis L Jr., Szalai E, Berta A, **Nemeth G**: Scheimpflug imaged corneal changes on anterior and posterior surfaces after collagen cross-linking. *Int J Ophthalmol* 2014;7:313-316 (IF: 0.5)
17. Hassan Z, Modis L Jr., Szalai E, Berta A, **Nemeth G**: Intraoperative and postoperative corneal thickness changing after collagen cross-linking therapy. *Eur J Ophthalmol* 2014;24:179-185 (IF: 1.068)
18. Kettesy B, **Nemeth G**, Kemeny-Beke A, Berta A, Modis L Jr.: Assessment of endothelial cell density and corneal thickness in corneal grafts an average of 5 years after penetrating keratoplasty. *Wien Klin Wochenschr* 2014;126:286-290 (IF: 0.791, független idéző: 1)
19. Hassan Z, **Nemeth G**, Modis L Jr., Szalai E, Berta A: Collagen cross-linking in the treatment of pellucid marginal degeneration. *Indian J Ophthalmol* 2014;3:367-370 (IF: 0.927)
20. Steiber Z, Tozser J, Silver DM, Jakab A, **Nemeth G**, Berta A, Csutak A: Plasminogen activator inhibitor type 2 in human tears and blood during pregnancy. *Int J Ophthalmol Eye Res* 2015;3:121-125 (IF: 1.02)

7.3 Egyéb, jelen értekezéshez nem felhasznált, magyar nyelvű közlemények listája

1. Módis L, **Németh G**, Takács L, Csutak A, Kettesy B, Berta A: Corneakonzerváló folyadékok összehasonlító vizsgálata. *Szemészet* 2001;138:5-10
2. Vámosi P, **Németh G**, Berta A: Első lépéseink a refractív phacoemulsificációban. *Szemészet* 2002;139:29-34
3. Kettesy B, Vámosi P, **Németh G**, Berta A: Phacoemulsificatio utáni cornealis változások spekulár mikroszkópos vizsgálata korai posztoperatív szakban. *Szemészet* 2002;139:S27
4. Tsorbatzoglou A, Fodor M, Vámosi P, **Németh G**, Berta A: Tapasztalataink glaucomás szemeken végzett phacoemulsificációval. *Szemészet* 2003;140:136-138
5. **Németh G**, Tsorbatzoglou A, Módis L, Berta A: Az akkomodáció vizsgálata pseudophakiás szemeken. *Orvosi Hetilap* 2009;150:943-948
6. **Németh G**, Módis L, Kolozsvári B, Vajdas A, Berta A: Elülső szegmentum optikai koherencia tomográf alkalmazása a szemészetben. *Szemészet* 2009;146:47-52

7. Szalai E, Berta A, **Németh G**, Kolozsvári B, Vajas A, Módis L: A szaruhártya törőerejének vizsgálata Scheimpflug-kamerával, automata kerato-refraktométerrel és korneatopográffal. Szemészet 2010;147:3-8
8. Hassan Z, Simon L, Szalai E, **Németh G**, Berta A, Módis L: A collagen cross-linking hatása a keratoconus kezelésében. Szemészet 2010;147:143-149
9. Úr L, **Németh G**, Tsorbatzoglou A: A visszaverődéses tonométer (IOPen®) összehasonlítása Goldmann applanációs és non-kontakt tonométerrel. Szemészet 2011;148:35-38
10. **Németh G**, Tsorbatzoglou A, Berta A, Módis L: Sebészileg indukált astigmia 2,6 illetve 3,0 mm-es clear cornealis sebek esetén. Szemészet 2012;149:19-23
11. **Németh G**, Berta A: Szürkehályog a családorvos szemével. Medicus Anonymus 2012;7-8:21-22
12. **Németh G**, Hassan Z, Szalai E, Berta A, Módis L: Az egészséges cornea biomechanikájának vizsgálata Scheimpflug elven működő képalkotással. Szemészet 2013;150:80-84
13. Módis L, Szalai E, Takács L, Kettesy B, **Németh G**: A keratoconus diagnosztikája és kezelése. Pontszerző továbbképző közlemény. Szemészet 2015;152:34-53

8. Scientometriai paraméterek

Angol, peer reviewed közlemények száma: 36

ebből elsőszerzős: 18

utolsó szerzős: 5

társ szerzős: 13

Angol, egyéb közlemények száma: 1

ebből elsőszerzős: 1

Magyar közlemények száma: 14

ebből elsőszerzős: 6

utolsó szerzős: 1

társ szerzős: 7

Összesített impact faktor: 67.0

Első és utolsó szerzős közlemények impact faktora: 45.0

Idézettiségek száma: 325, ebből független: 317

Hirsch-index: 8

A PhD fokozat megszerzése előtti közleményekre vonatkozó kumulatív impact faktor: 21.704

A PhD fokozat megszerzése utáni teljes tudományos folyóiratcikkek száma: 36

A PhD fokozat megszerzése utáni teljes tudományos folyóiratcikkek impact faktora: 45.3

9. Köszönetnyilvánítás

Őszinte hálám és baráti köszönetem Dr. Módis László Professzor Úrnak. A hosszú éveken át tartó hatékony és intenzív közös klinikai és tudományos munka eredménye volt a PhD disszertációm, majd a habilitációhoz szükséges tudományos anyagom is. Köszönöm önzetlen, baráti és szakmai támogatását és a folyamatos útmutatást, bízva a jövőbeni együttműködésünkben is. Köszönöm a sok jó gondolatot, értékes ötletet és motiválást, melyek elengedhetetlenek voltak munkám során.

Baráti hálával tartozom Dr. Hassan Ziadnak, a hosszú évekig tartó, töretlen közös és eredményes tudományos munkáért, valamint hogy a klinikai vizsgálatokhoz nélkülözhetetlen saját műszereihez hozzáférést biztosított.

Köszönettel tartozom Dr. Vámosi Péter és Dr. Tsorbatzoglou Alexis Főorvos Uraknak és Dr. Szalai Eszternek, akikkel tudományos munkáimban hatékonyan együtt dolgozhattam.

Köszönöm Dr. Berta András Professzor Úrnak, hogy biztosította klinikai-, tudományos munkám hátterét és szakmai előmeneteletem a Debreceni Szemklinikán.

Hálás köszönetem Dr. Facskó Andrea Professzornőnek, aki már egyetemista éveimben lehetőséget adott klinikai munkám elindítására, és megalapozta a szemészet szakma iránti szeretetemet és elkötelezettségemet.

Végezetül, de nem utolsó sorban, legnagyobb hálával feleségemnek tartozom: ezúton is köszönöm mérhetetlen türelmét, szeretetét, folyamatos támogatását, melyek nélkül ez a munka soha nem jöhetett volna létre.